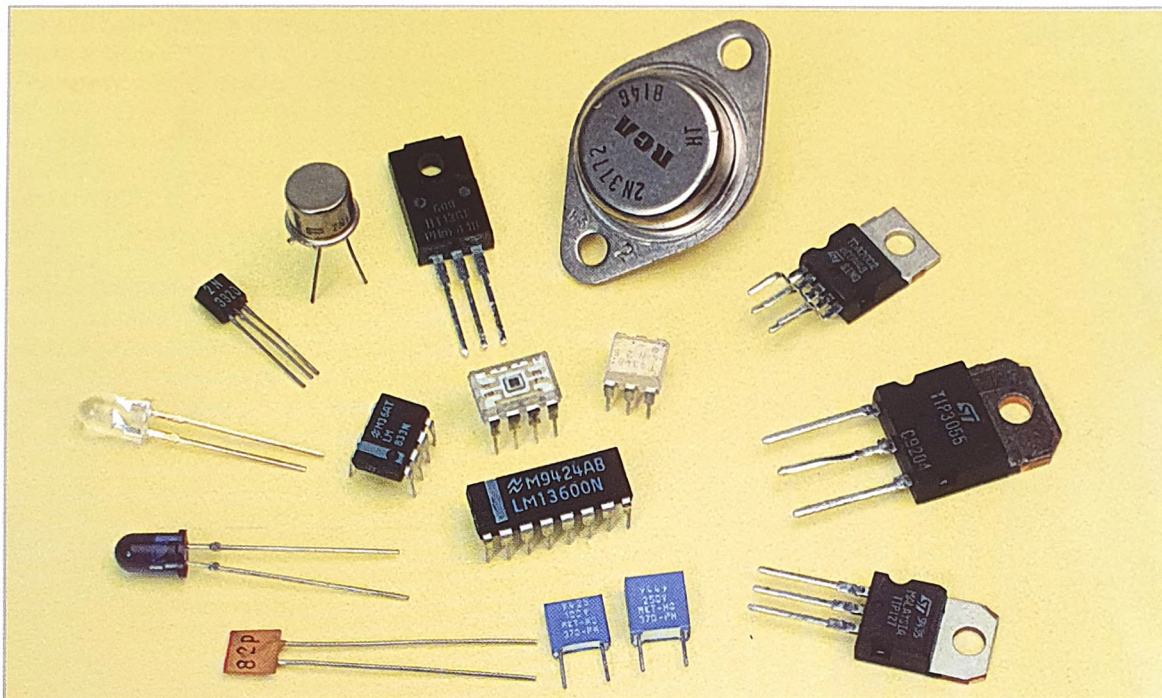
6
TECNICA
TECNICA

I simboli dei componenti

Varie forme di contenitori che identificano lo stesso componente.

Una delle risorse più importanti per l'essere umano è la comunicazione, indipendentemente dalla sua lingua o cultura. Per poter superare le barriere costituite dall'idioma, si tende alla normalizzazione; succede lo stesso anche in elettronica. In tutto il mondo si utilizza lo stesso linguaggio elettronico, di modo che qualsiasi progetto realizzato da una persona sia comprensibile a un'altra all'estremo opposto del mondo. Una buona comprensione dipende dal parlar bene il "linguaggio elettronico" e, quindi, dobbiamo rappresentare correttamente i simboli che ne sono alla base. Per arrivare a "omogeneizzare" tutti i simboli sono stati seguiti determinati criteri coerenti con il funzionamento dei componenti che rappresentavano.

I simboli rappresentano il "linguaggio universale" degli schemi.

I simboli

Nella tavola alla pagina seguente sono mostrati i simboli di alcuni dei componenti elettronici più importanti così da familiarizzarci, dato che li dovremo utilizzare frequentemente nei nostri esperimenti. In questo modo, qualsiasi persona potrà capire e seguire facilmente gli schemi dei progetti.

I transistor

I simboli dei transistor NPN e PNP sono molto simili: hanno tutti e due una freccia sul terminale segnato come emettitore (E), che indica il verso in cui la corrente circola in detto terminale. Porre la freccia correttamente è assolutamente imprescindibile sia per il funzionamento del circuito che per la sua comprensione.

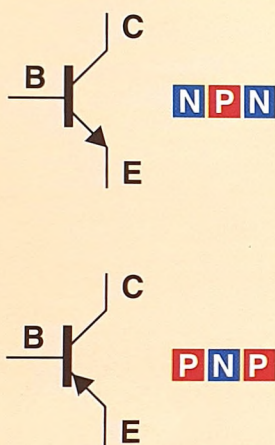
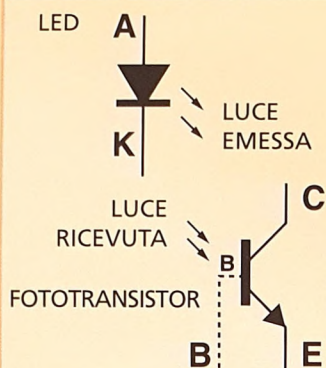
LED e fototransistor

I diodi LED e fototransistor costituiscono un altro esempio. Il diodo LED emette luce e ha alcune piccole frecce a lato che indicano l'emissione della luce. Per questo motivo nella rappresentazione di un fototransistor esistono delle frecce entranti che indicano la ricezione della luce.

I condensatori

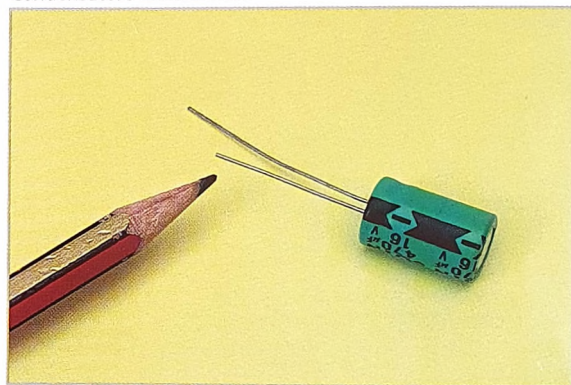
Dobbiamo considerare a parte i condensatori come componenti di grande utilità; abbiamo

Simboli dei componenti

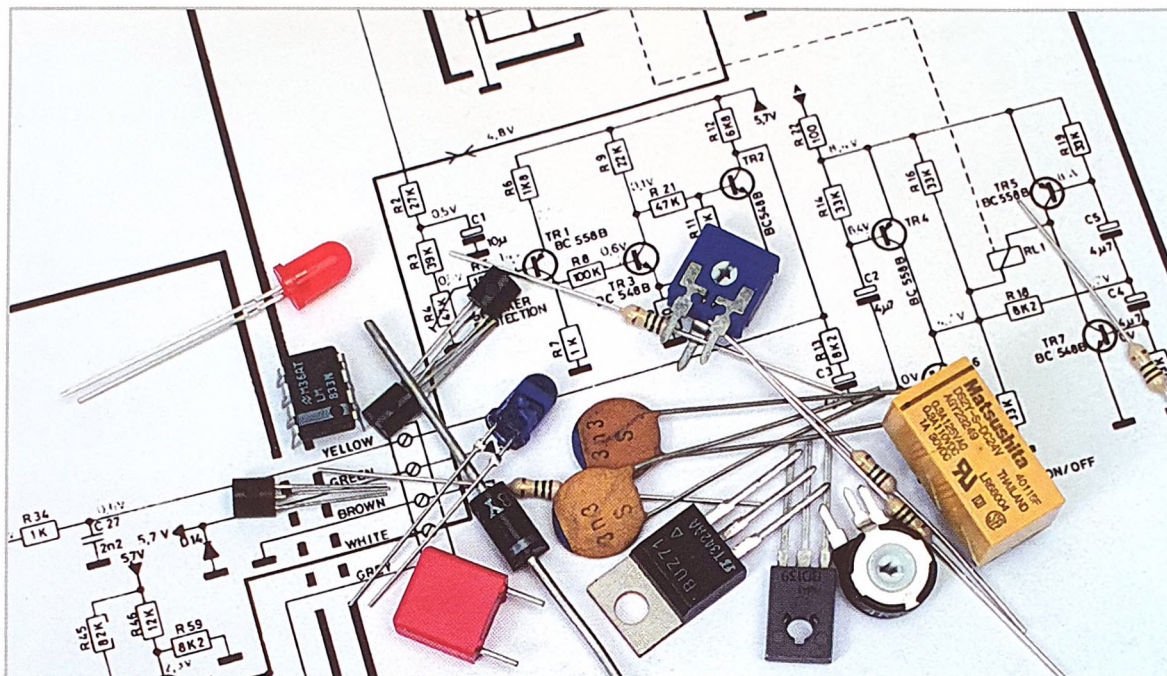
Diodo LED e fototransistor.

Tipi base di transistor.

quelli non polarizzati di uso comune per le basse capacità e quelli elettrolitici, che sono polarizzati, e che permettono di ottenere valori più elevati di capacità. In questi ultimi il simbolo indica il terminale che va collegato alla tensione positiva; in alcuni casi si aggiunge anche il segno "+" o il segno "−" che indica il terminale negativo. Se guardiamo l'elemento, ci accorgiamo che uno dei suoi due terminali è più lungo e inoltre ha un segno che indica il polo negativo.

Nel simbolo dei condensatori non polarizzati i terminali non vengono distinti e non si differenziano neanche all'interno del componente.

Condensatore elettrolitico.

1. Amperometro
2. Altoparlante
3. Bobina
4. Condensatore
5. Condensatore elettrolitico
6. Condensatore variabile
7. Commutatore
8. Diodo
9. Diodo zener
10. Diodo LED
11. Fusibile
12. Fototransistor NPN
13. Lampadina
14. Interruttore
15. Microfono
16. Motore alternato
17. Optoaccoppiatore con transistor
18. Batteria
19. Ponte rettificator
20. Ponte
21. Pulsante
22. Terminale
23. Resistenza
24. Potenziometro
25. Transistor NPN
26. Transistor PNP
27. Mosfet canale N
28. Mosfet canale P
29. Triac
30. Tiristore
31. Relè a un solo contatto
32. Trasformatore

Schemi elettrici

Lo schema è una rappresentazione normalizzata del circuito reale.

Aprendo un'apparecchiatura, difficilmente possiamo sapere come funziona, se già non siamo stati in grado di capirlo dalla sua conformazione: i componenti sono addossati l'uno all'altro per risparmiare spazio, le connessioni sono nascoste e a una prima occhiata non si distingue la connessione di un componente con quella di un altro. Nemmeno un disegno in scala, tridimensionale e che rappresenti fedelmente quanto vediamo, sarebbe molto pratico. Indubbiamente, un esperto con lo schema in mano comprenderebbe rapidamente la funzione del circuito e, se fosse in possesso di cognizioni sufficienti, sarebbe in condizione di localizzare il guasto, in caso si tratti di effettuare una riparazione.

Se si comprende lo schema, si capisce il circuito.

Dati del componente

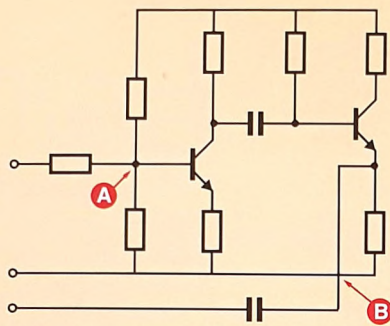
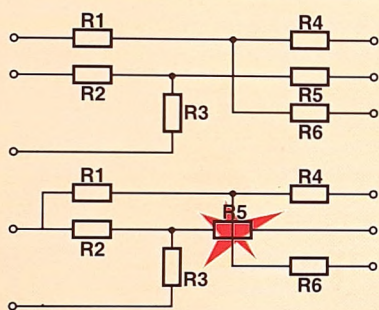
Lo schema elettrico, oltre a rappresentare le connessioni tra i componenti – sia quelli nel circuito stampato sia quelli al di fuori del circuito (trasformatori di alimentazione, per esempio) – deve indicare le connessioni di entrata, di uscita e di alimentazione e utilizzare simboli e denominazioni internazionali. Inoltre, deve portare le indicazioni più importanti di ciascun elemento, senza dilungarsi per evitare di riempire troppo lo schema. Ogni resistenza deve portare un riferimento; normalmente si utilizza una R seguita da un numero di disposizione e si suole indicarne il valore: R14 33K, tanto per fare un esempio. Per i condensatori viene impiegata la lettera C: C3 100 nF.

Linee di connessione

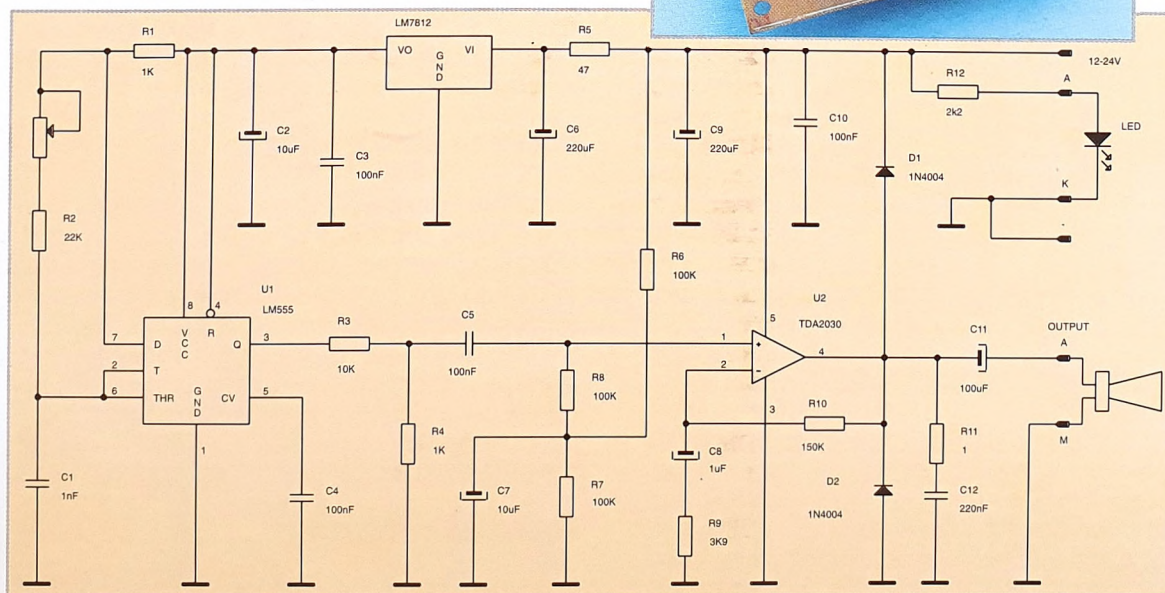
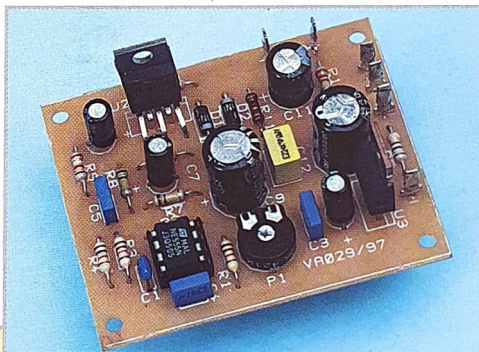
Le connessioni tra componenti si realizzano mediante linee continue: si devono evitare le intersezioni di linee, per quanto possibile, ma se non se ne può fare a meno si lasceranno intersecate, formando una croce senza alcuna connessione. Se vogliamo che ci sia una connessione, si rinforza l'incrocio con un punto. Le linee di unione tra componenti o le connessioni con l'esterno non devono passare al di sopra dei componenti perché genererebbero confusione.

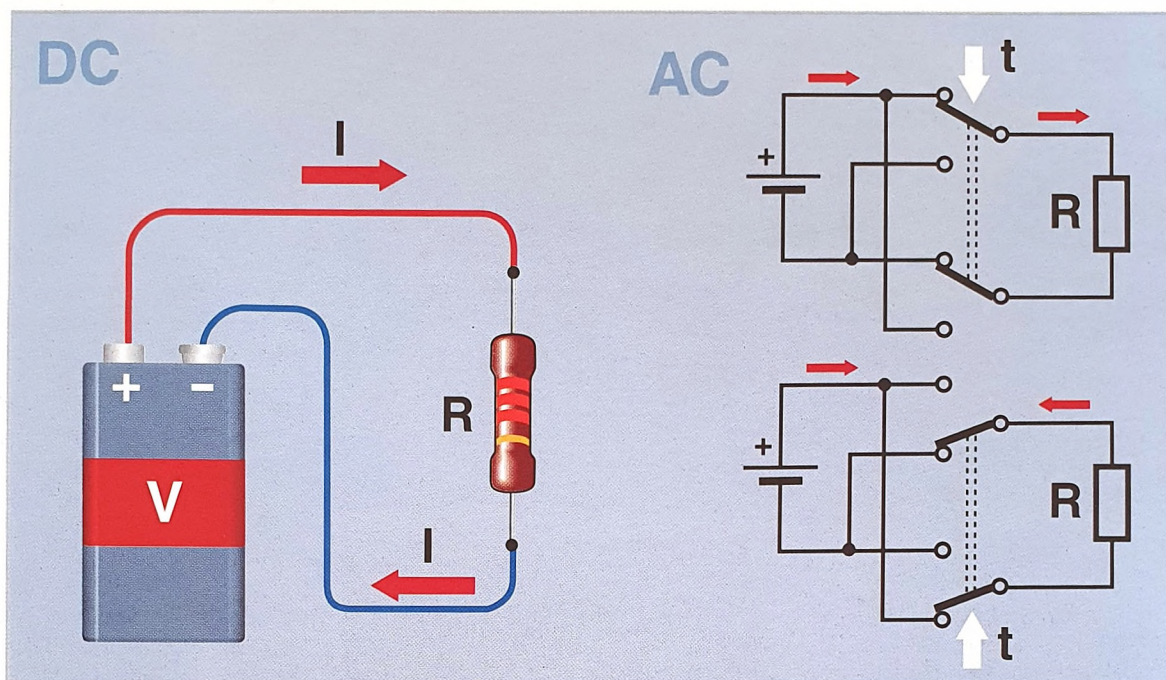
Ingressi e uscite

Le entrate e le uscite di un circuito devono poter essere chiaramente identificabili: i terminali si

Schemi elettrici

A) Incrocio con connessione
B) Incrocio senza connessione

Le linee di connessione tra componenti non si devono incrociare al di sopra di essi.

identificano con una lettera. Se ci si trova di fronte a un connettore, tutto l'insieme si assimila alla lettera J e, in seguito, a ognuno dei terminali si assegna la medesima numerazione del connettore, così da evitare errori. Logicamente gli stessi riferimenti si utilizzano nel circuito stampato, così da poter seguire il circuito "disegnato" sul circuito stampato, sia per studiarlo e sia per localizzare un eventuale guasto. Avvalersi dello schema, seguendo una certa logica, infatti, è il metodo più veloce e sicuro per localizzare un'avaria. Negli schemi più completi viene segnalata anche la funzione di ogni entrata e di ogni uscita, indicando, per esempio: massa, entrata audio, uscita video, alimentazione, positivo 12 V eccetera. Vengono aggiunte, inoltre, altre indicazioni, come: valore massimo 24 V, altoparlanti da 4 W, alimentazione micro da 3 V.

Circuito montato corrispondente allo schema.

Corrente continua e alternata

Il senso della corrente alternata si inverte dopo un certo tempo chiamato periodo.

Tutti gli apparecchi elettrici o elettronici devono essere alimentati con energia elettrica. L'elettricità è un'energia che troviamo disponibile in diverse forme, la più comune è la rete elettrica che abbiamo nelle case, che è alternata e ha una frequenza di 50 Hz in Europa e 60 Hz in alcuni paesi del continente americano. Ci sono anche altre fonti di energia elettrica molto usate che sono le pile o batterie, che forniscono corrente continua. I circuiti interni degli apparecchi elettronici funzionano, in genere, con corrente continua, benché abbiano circuiti di alimentazione che permettono l'utilizzo di energia elettrica alternata, convertendola dapprima in continua.

Segnali alternati

Ciò che abbiamo visto fino ad ora è un esempio molto conosciuto di corrente alternata, che è la rete di energia elettrica. In elettronica si utilizzano grandi quantità e varietà di segnali alterni. La principale caratteristica di questi segnali è che il senso di circolazione della corrente si inverte dopo un certo tempo chiamato periodo, che si rappresenta con la lettera T.

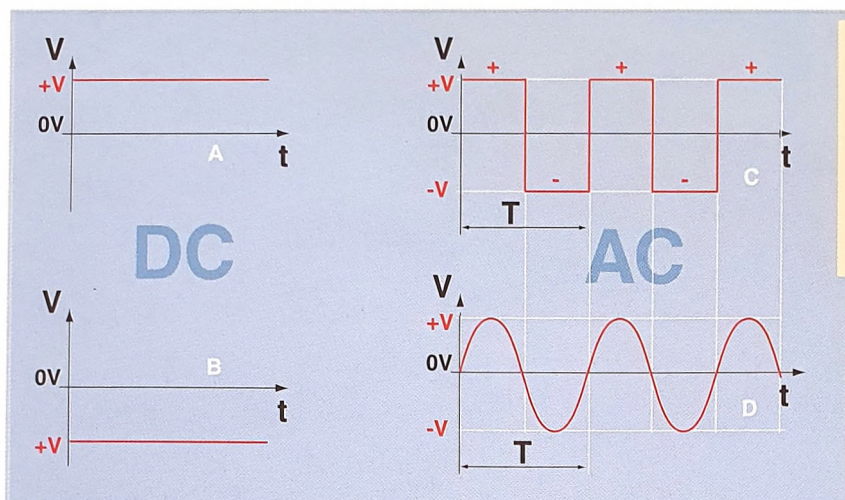
Frequenza

Come indica il suo nome, la frequenza con cui si ripete questo cambio di senso della corrente si chiama "frequenza". La frequenza di un segnale è il numero di volte che questo inverte il suo senso di circolazione in un'unità di tempo, che è il secondo. Matematicamente la frequenza è l'inverso del periodo. La frequenza si rappresenta con la lettera f.

La frequenza indica l'alternanza della corrente

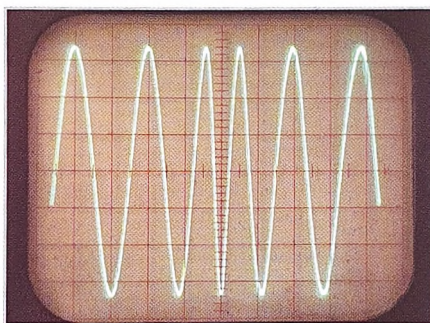
Forme di onda

Se rappresentiamo in un diagramma tensione/tempo la tensione di un segnale alternato periodico, può avere differenti forme. I più elementari sono i segnali quadrati e sinusoidali, questo nome deriva dalla loro forma geometrica. Il segnale quadrato si può ottenere con un commutatore doppio ideale che cambia il senso della corrente, invertendo il senso di collegamento della pila. Nel segnale sinusoidale la tensione passa più dolcemente dal positivo al negativo. I segnali sinusoidali sono molto utilizzati in elettronica, visto che è l'unica forma di segnale ideale che teoricamente non dà distorsione.

Corrente continua e alternata

FORME DI ONDE

A onda continua positiva
B onda continua negativa
C onda quadrata
D onda sinusoidale

Valori efficaci

Il calcolo della corrente, che passa per una resistenza collegata a una batteria fra i cui terminali si misura una tensione continua, è molto semplice applicando la legge di Ohm. Però ora abbiamo la tensione che varia continuamente e costantemente, essendo in alcuni momenti anche zero. Se applichiamo la legge di Ohm in un istante e calcoliamo la corrente, all'istante successivo sarà variata e dovremo tornare a calcolarla e così di seguito. In definitiva anche la corrente varia con lo stesso ritmo con cui varia la tensione e non si può calcolarla istante per istante. Ma per semplificare i calcoli si definisce il valore efficace, che permette di utilizzare l'espressione matematica della legge di Ohm.

Schermo di oscilloscopio con onda sinusoidale.

La rete

La tensione alternata che arriva alla spina della nostra casa è di 50 Hz, questo vuole dire che cambia polarità 50 volte al secondo: la forma dell'onda è sinusoidale. Per calcolare il periodo dividiamo 1 per 50 e otteniamo 0,02 secondi, cioè 20 millisecondi. Vediamo altri esempi di utilizzo.

Alternata o continua

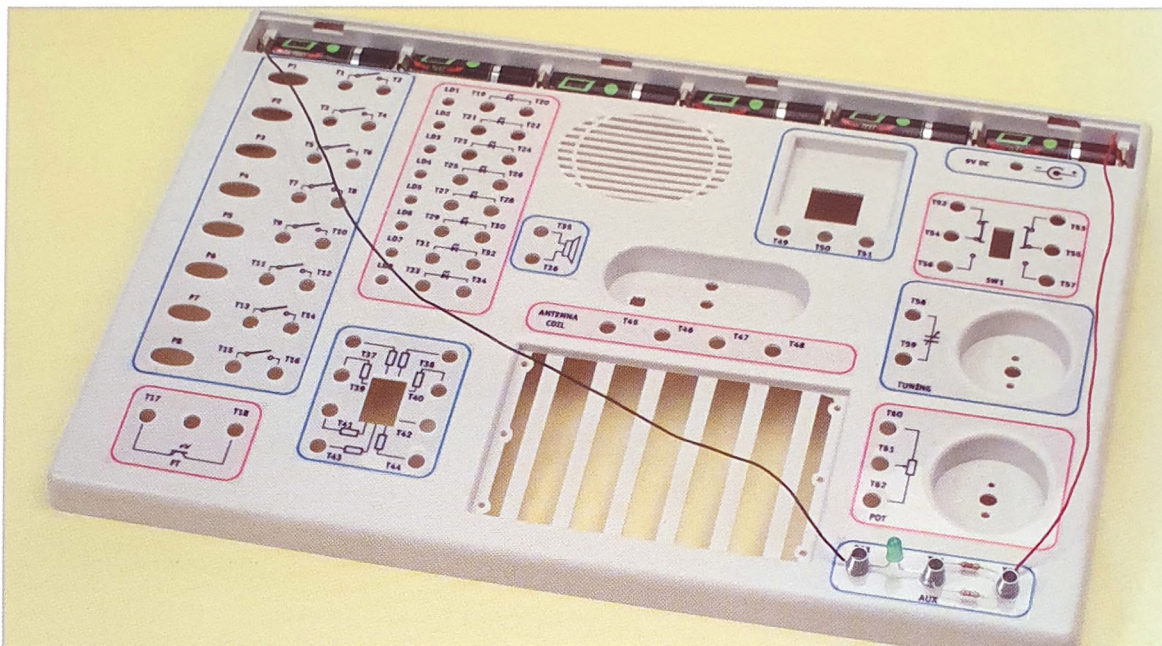
Per indicare la corrente alternata si usano le lettere AC e per la corrente continua DC. Nelle piastre di identificazione degli apparecchi si indicano le entrate di alimentazione, o le tensioni di entrata e uscita; quando si tratta di alimentazione alternata si deve indicare la frequenza di utilizzo, alcuni apparecchi possono avere una vasta gamma di frequenze di entrata. Come curiosità ricorderemo che nelle astronavi si utilizza la frequenza di 400 Hz.

Piastra di identificazione che indica AC per l'entrata e DC per l'uscita.

Alte frequenze

In molti apparecchi elettronici, come la radio, la telefonia mobile, la televisione eccetera, si usano frequenze molto elevate. Quando la frequenza è molto elevata si usano multipli del Hertz, (anticamente si usava il ciclo per secondo), che è lo stesso. 1.000 Hz è 1 kHz, letto 1 kilohertz. 1 milione di Hertz è 1 megaHertz, scritto 1 MHz. Per esempio la telefonia mobile digitale più comune funziona a 800 MHz.

Combinazione di resistenze

Le resistenze si possono associare per distribuire adeguatamente la tensione, la corrente o la potenza.

Le resistenze sono uno dei componenti più utilizzati in elettronica e in pratica molte volte si collegano due o più resistenze in serie, in parallelo o in una combinazione mista di entrambe. Per molto complessa che sia la combinazione di resistenze, potrà sempre ridursi a combinazioni in serie o in parallelo. In casa nostra possiamo trovare esempi di collegamenti in serie e in parallelo.

Tutti i gruppi di resistenze derivano dal collegamento in serie e in parallelo

Collegamento in serie

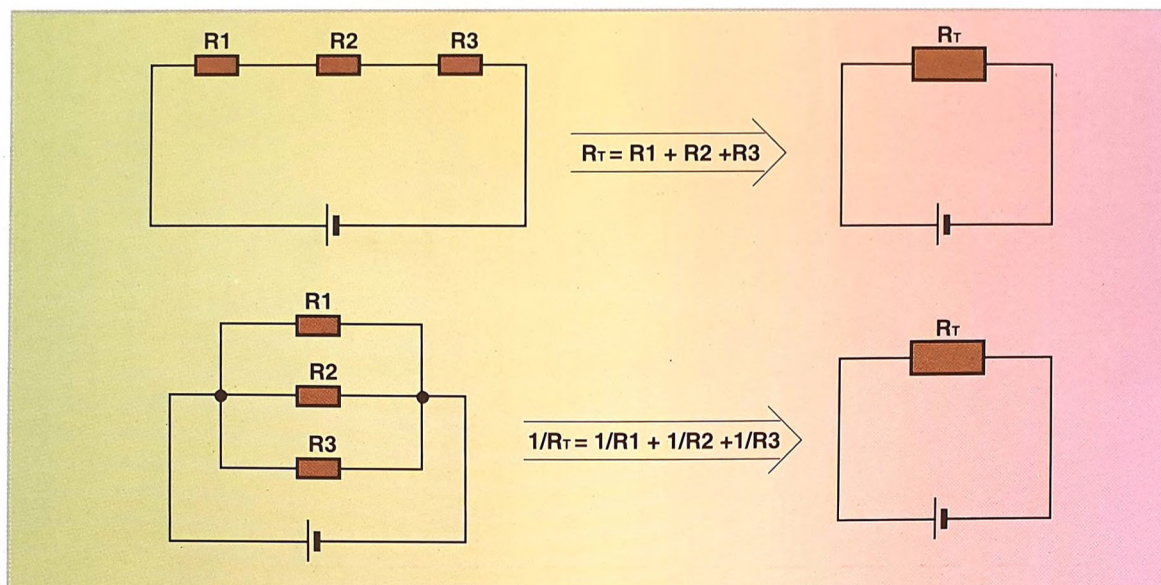
Un modo per ottenere una resistenza di un determinato valore è il collegamento in serie di resistenze. Questo collegamento avviene perché le resistenze si collegano fra loro attraverso gli estremi. Il calcolo della resistenza totale fra l'estremo della prima e quello dell'ultima è così semplice: basta sommare i valori di tutte le resistenze. Se colleghiamo le resistenze a una pila, la corrente che circola per ognuna di esse è la stessa, tuttavia la tensione è diversa a seconda del valore della resistenza.

Esperimento 1

Vediamo questo esempio in pratica. Colleghiamo il terminale positivo (cavo rosso) alla molla terminale T65 e il negativo (cavo nero) alla T63. Adesso colleghiamo il terminale corto del diodo LED verde al T63 e il terminale lungo al T64. Non dobbiamo mai collegare il diodo LED direttamente ai terminali di alimentazione, perché lo distruggeremmo. Ora collegheremo la resistenza di 3K3 (arancio, arancio, rosso) fra T65 che ha il positivo e la molla T64. Vediamo che il diodo LED si illumina notevolmente. In seguito libereremo il cavo di T65 e uniremo uno dei terminali di una resistenza di 2K2 a T65 e il terminale della resistenza che resta libera al cavo rosso. Vediamo che essendo la resistenza totale maggiore (somma di entrambe), il LED si illumina di meno. Possiamo fare prove cambiando la resistenza R2 con una di 10 K, vediamo che il LED quasi non si illumina.

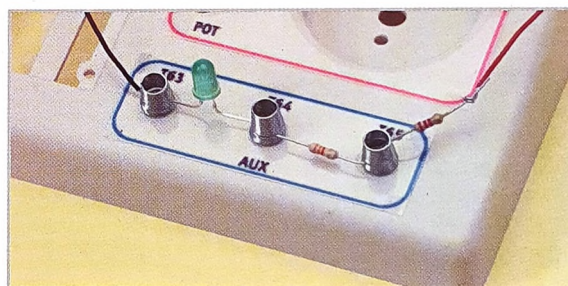
Collegamento in parallelo

Altro modo di collegare le resistenze è in parallelo. Questo metodo consiste nel fatto che tutte le resistenze collegate hanno la stessa tensione fra gli estremi, cioè, hanno i terminali di un estremo uniti fra loro, operazione che si ripete con il terminale dell'altro estremo. Con questo montaggio si riesce a distribuire la corrente fra tutte le resistenze. Ciononostante tutte le resi-

Combinazione di resistenze

Gruppo di resistenze in serie e in parallelo, con le formule per calcolare la resistenza totale equivalente.

stenze hanno la stessa tensione applicata fra i loro estremi. Il calcolo della resistenza equivalente a tutte quelle che sono in parallelo si realizza nel seguente modo. L'inverso della resistenza risultante è uguale alla somma degli inversi delle resistenze che compongono il parallelo.

Esperimento 2

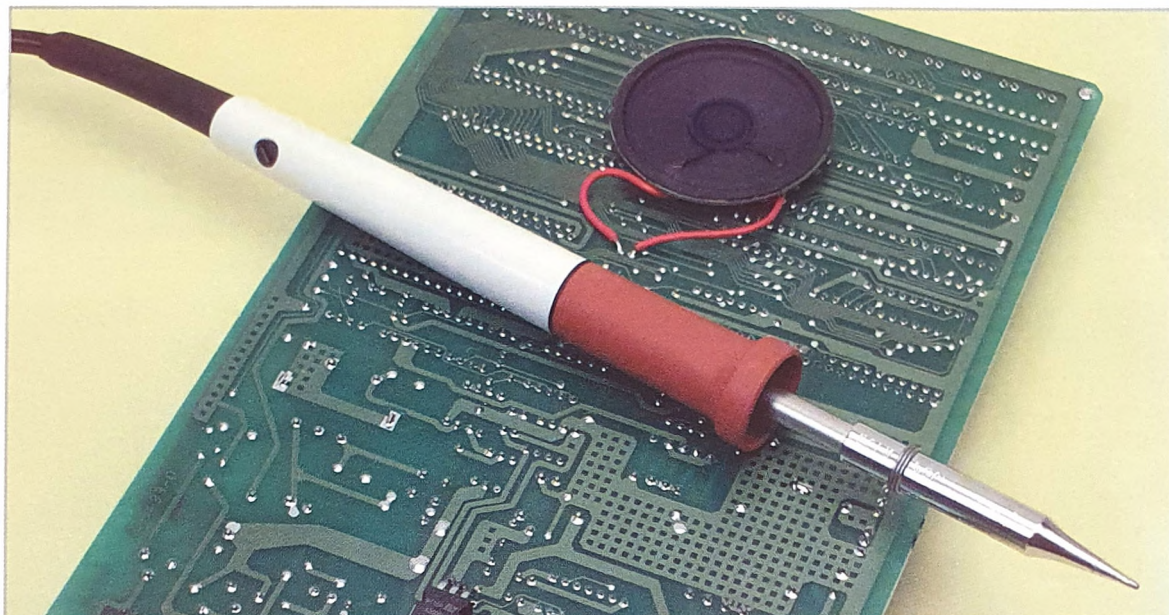
Realizzeremo un piccolo esperimento di collegamento in parallelo. Ripetiamo il montaggio precedente, cioè, colleghiamo il cavo rosso alla molla terminale T65 e il cavo nero alla T63. Il diodo LED e la resistenza di 3K3 uguale al precedente. Ora colleghiamo in parallelo con la resistenza, cioè fra le stesse molle T64 e T65, una resistenza di 2K2, la sorpresa è che adesso invece di illuminarsi meno, il diodo LED si illumina di più. La spiegazione è che ora la resistenza totale è di 1.32 K (valore che si ottiene sostituendo direttamente i valori). Possiamo provare con diversi valori per poter capire questa connessione.

Collegamento misto di resistenze.

Collegamento in serie di resistenze.

Collegamento misto

Due sono le idee di base che abbiamo imparato. Da un lato, nel collegamento in serie la corrente che circola attraverso le resistenze è la stessa, mentre se le resistenze hanno un valore diverso, la tensione è diversa. Al contrario, le resistenze collegate in parallelo hanno la stessa tensione fra gli estremi e la corrente che circola per ogni resistenza è diversa se sono di valori diversi. Con questi elementi possiamo ottenere facilmente la resistenza totale di qualsiasi circuito, qualunque sia la sua configurazione; basterà calcolare i circuiti in serie o in parallelo più facili fino a ottenere la resistenza totale.

La saldatura facile

La saldatura manuale con stagno è facile da imparare e da realizzare, basta seguire qualche suggerimento essenziale.

La saldatura con stagno oltre a essere facile è economica ed è la maniera di assicurare un buon contatto elettrico. Oltre a essere molto utile per gli affezionati all'elettronica è una tecnica che deve essere dominata da ogni persona che abbia manualità, e necessaria per chi è appassionato di bricolage, poiché è quasi obbligatoria in casa.

La punta del saldatore si pulisce a caldo con una spugna bagnata di acqua, non si deve mai limare o grattare.

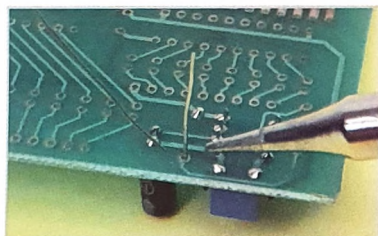
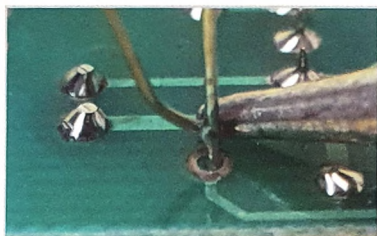
Gli attrezzi

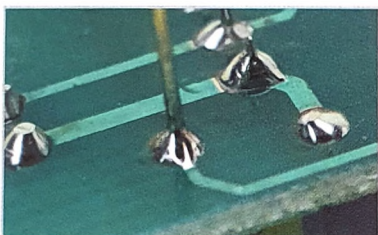
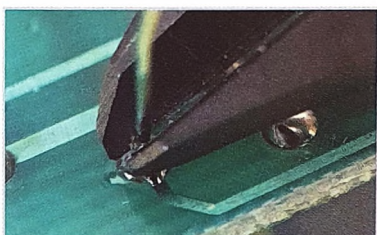
Per realizzare la saldatura con stagno abbiamo bisogno di un saldatore tipo matita di circa 30W di potenza e un po' di filo di stagno, che deve essere speciale per saldatura in elettronica, deve cioè avere al suo interno un'anima di resina che faciliti la saldatura e inoltre fonda alla temperatura adeguata. Questi elementi possono essere acquistati in qualsiasi negozio di elettronica. Lo stagno per saldature elettroniche non deve confondersi con quello che utilizzano gli idraulici, che può avere lo stesso aspetto, però è per altro tipo di saldature e inoltre richiede una temperatura più elevata.

La teoria

La saldatura consiste nell'applicare una lega di metallo fuso, in questo caso la maggior parte è stagno, per realizzare l'unione meccanica ed elettrica fra i due conduttori, generalmente di rame o di rame stagnato. Oltre a scaldare il filo di stagno per fonderlo è necessario che le superfici del pezzo da saldare raggiungano una certa temperatura minima, perché lo stagno non si solidifichi al contatto con lo stesso, e le "bagni", cioè che lo stagno penetri nei suoi pori e al solidificarsi resti saldamente attaccato, oltre a facilitare la conduzione elettrica. Il calore si applica con la punta del saldatore, la temperatura deve essere intorno ai 300°C. La punta del saldatore si accosta ai pezzi da saldare poi si avvicina il filo di stagno; questo si fonderà e bisogna fare in modo che scorra bene e unisca i pezzi che devono essere tenuti insieme finché lo stagno si solidifica.

Bisogna utilizzare il filo di stagno adeguato.

La saldatura facile

Riscaldamento del terminale.

Fusione dello stagno.

Saldatura al circuito stampato.

Saldatura finita.

Taglio del terminale in sovrappiù.

Esempio di saldatura mal fatta.

Saldatura dei componenti

Il tempo di saldatura dipende dalle dimensioni del pezzo da saldare, nel caso in cui sia grande avrà bisogno di tempo per scaldarsi. C'è un caso molto frequente in cui i pezzi da saldare sono molto diversi, per esempio il sottile strato di rame di un circuito stampato e il terminale di una resistenza.

In questo caso si mette la punta del saldatore sul terminale della resistenza per scaldarlo, un istante dopo si accosta lo stagno e una volta fuso si avvicina al nodo del circuito stampato fino a che lo stagno scorra e sia ben unito, si lascia raffreddare la saldatura senza muovere la resistenza e si taglia la parte che fuoriesce dal circuito.

Pulizia

I circuiti stampati hanno le piste prestagnate e la saldatura si realizza senza alcuna difficoltà, però ci sono pezzi di rame che col tempo possono sporcarsi: normalmente basta grattare leggermente la superficie di contatto con carta vetrata. Il composto che c'è all'interno del filo di stagno facilita la saldatura nei casi in cui lo stagno forma una bolla, ma quando il pezzo si scalda fluisce e si può saldare. La formazione di bolle di stagno che non si stendono sulla zona da saldare è dovuta alla sporcizia o al fatto che non si è raggiunta la temperatura necessaria.

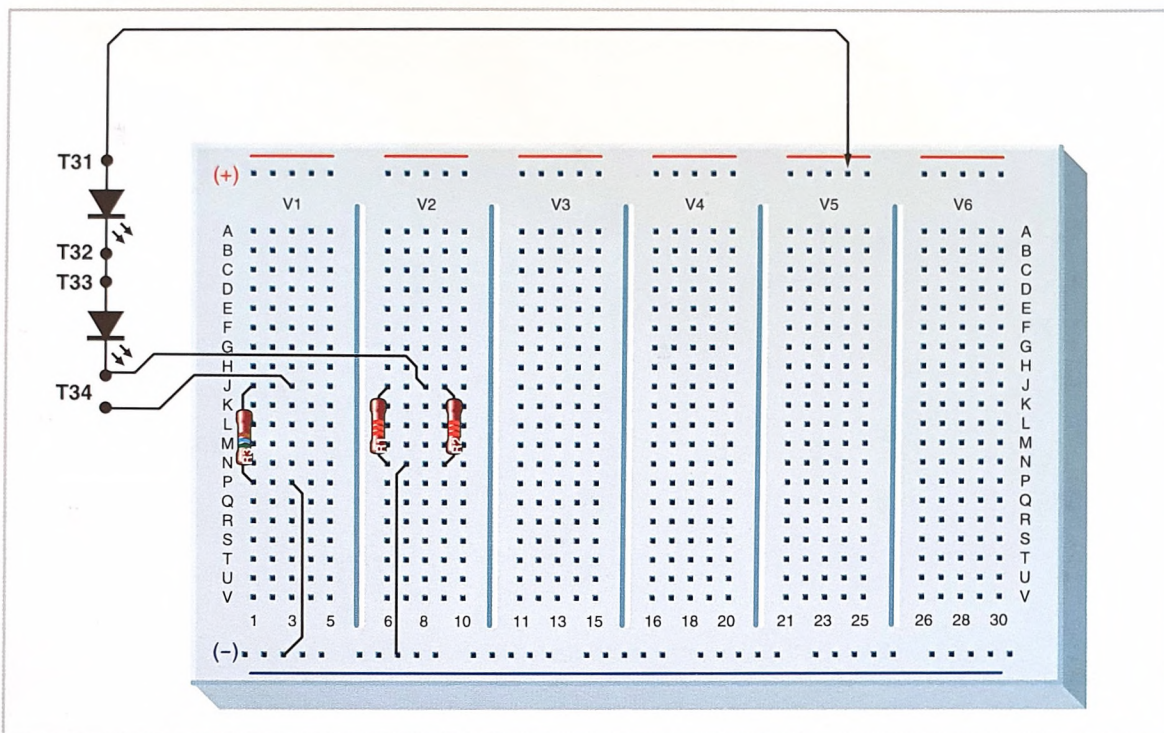
Dettaglio di saldatura di un cavo al terminale della pila.

La punta del saldatore

Le punte dei saldatori subiscono un trattamento superficiale che facilita l'aderenza dello stagno, pertanto non devono mai essere limate o passate con la carta vetrata. La punta del saldatore di solito si macchia a causa dell'accumulo dei resti di resina che lo stagno ha al suo interno. Quando è caldo si pulisce facilmente se si passa leggermente una spugna bagnata con acqua (i supporti del saldatore comprendono una spugna per questo motivo), si può anche utilizzare un panno di cotone umido.

Questa operazione si deve fare in modo molto veloce, e, attenzione!!, sia la spugna che il panno devono essere appoggiati su un pezzo di metallo, mai tenuti in mano. Tantomeno si deve lasciare il saldatore acceso sopra qualsiasi luogo, né alla portata di bambini o altre persone che incidentalmente possano toccarlo; quando non si usa deve essere staccato.

Polarizzazione di diodi LED

Il diodo LED, un indicatore visivo robusto ed economico di uso molto diffuso.

Il primo concetto che bisogna avere molto chiaro è che perché un diodo LED s'illumini deve passare attraverso di esso una corrente, oltre ad essere polarizzato direttamente, come qualsiasi diodo. I diodi LED non si polarizzano con una tensione, si polarizzano con una corrente. Però perché circoli una corrente bisogna applicare una tensione; allo stesso modo, intercalando una resistenza nel circuito, si ottiene facilmente una determinata corrente. Queste sono nozioni basilari.

Resistenza limitatrice

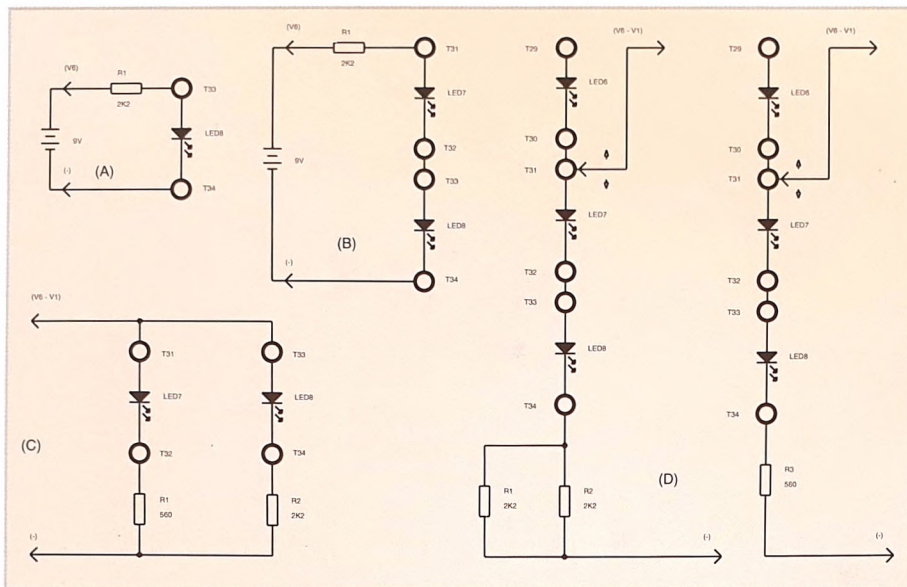
I diodi LED attuali sono di elevata luminosità e si illuminano con una corrente di 1 mA. Nei luoghi dove l'illuminazione ambientale è elevata, la corrente deve essere aumentata, normalmente si utilizzano 5 mA, benché la maggior parte dei modelli di 5 mm di diametro sopportino i 10 mA. Si deve anche considerare che se il funzionamento diventa intermittente richiama di più l'attenzione. Se osserviamo lo schema A, la corrente che circola attraverso la resistenza I si calcola dividendo 9-2 per il valore della resistenza, essendo 2 V la caduta di tensione nel LED; bisogna stabilire che, se la tensione della pila non supera le 2 V, non si può avere circolazione di corrente in senso diretto.

Nel circuito precedente, per una resistenza di 2K2 risulta una corrente di 3,18 mA; per 10K si ottengono 0,7 mA e, come potremo osservare, anche il LED si illumina, questo circuito si può verificare in laboratorio, inoltre si raccomanda di collegarlo a V6 (9 V) e continuare ad abbassare V5, V4, V3 fino a che non si ha l'illuminazione del diodo.

Collegamento in serie

Si raccomandano molto i collegamenti di diodi LED in serie, sempre che la tensione di alimentazione sia superiore alla caduta della tensione in questi LED, che, come si ricorderà, è approssimativamente di 2 V. Per permettere la circolazione di corrente, il collegamento deve essere realizzato nel modo giusto, in modo che la corrente che circola in tutti i diodi sia la stessa: vediamo l'esperimento corrispondente allo schema B. Applicando di nuovo la legge di Ohm si deduce che la corrente che circola per il circuito è uguale a 9-2-2 diviso per il valore della resistenza; per una

Calcolo facile e rapido

Polarizzazione di diodi LED

COMPONENTI

Circuito A:
R1 2K2
LED8

Circuito B:
R1 2K2
LED7, LED8

Circuito C:
R1 560 Ω
R2 2K2
LED7, LED

Circuito D:
R1,R2 2K2
R3 560 Ω

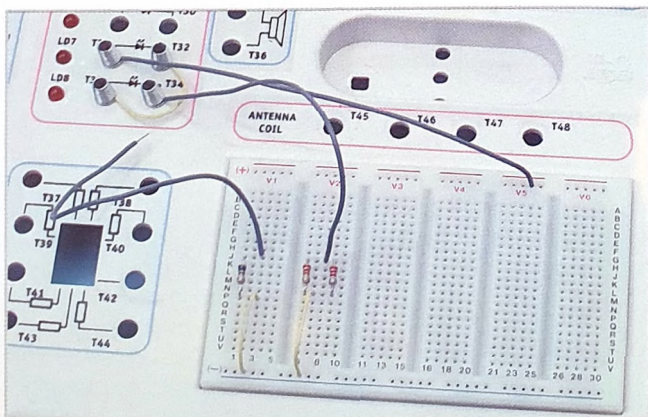
LED6, LED7, LED8

resistenza di 2K2 si ottiene 2,27 mA. La cosa più importante di questo calcolo è lasciare la tensione di alimentazione di 2 V per ogni LED collegato in serie, che possono essere vari, e non soltanto due.

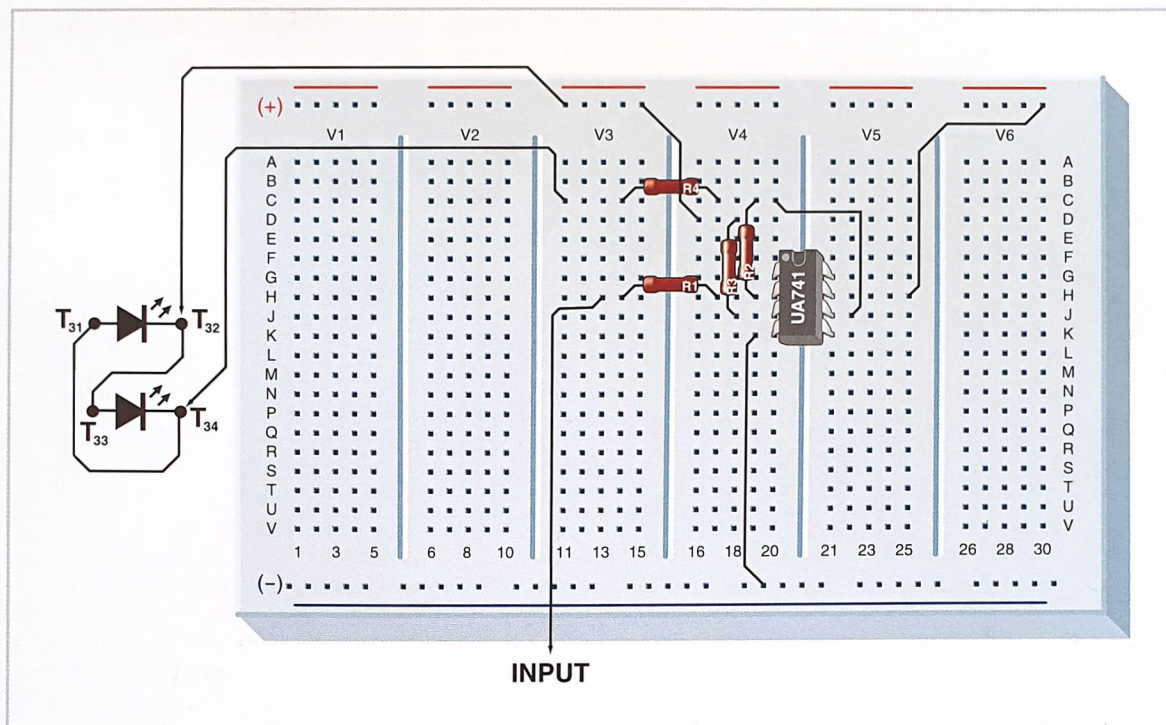
Collegamento in parallelo

Per questo tipo di collegamento, ogni LED ha bisogno di una sua resistenza limitatrice, che si calcola individualmente, per cui si utilizza solo quando si vuole disporre di vari indicatori con una tensione di alimentazione ridotta e i diodi LED non possono essere collegati in serie. Se realizziamo un esperimento C e iniziamo collegando l'alimentazione a V1, vediamo che non si illumina, perché 1,5 V di alimentazione è inferiore a 2 V di caduta di tensione nel LED. Ciononostante, con 3 V (V2) si illuminano, di più quanto minore è la resistenza limitatrice; in questo modo la tensione di alimentazione può aumentare variando V3, V4, V5 e V6, verificando che ogni volta si illumina di più. Non è raccomandabile mantenerlo in questa ultima posizione, perché per qualche LED la corrente sopportata può essere eccessiva.

Esperimento D

L'utilizzo dei LED installati definitivamente facilita la realizzazione di tutti questi esperimenti. In questo esperimento disponiamo di una fila di tre LED, ognuna collegata in serie con le sue corrispondenti resistenti limitatrici, in un caso si tratta di una resistenza di 1K1 ottenuta dalla connessione in parallelo di due resistenze di 2K2; nell'altro è una resistenza di 560 Ω. L'estremo di ogni resistenza si collega al negativo dell'alimentazione attraverso i collegamenti (-) della piastra dei prototipi. L'altro estremo, segnato come T31, si collegherà, con un filo di collegamento, ai terminali V6, V5, V4, V3, V2 e V1, che corrispondono negativamente alle tensioni di 9V, 7,5 V, 6 V, 4,5 V, 3 V e 1,5 V, controlliamo a quali tensioni si illuminano i LED. Disponendo di più molle, potremo fare esperimenti con più LED collegandoli in serie.

Montaggio corrispondente all'esperimento D montato sul laboratorio

Amplificatore invertitore

Amplifica il livello del segnale d'entrata, ma inverte la sua polarità.

Questo circuito si può utilizzare per amplificare segnali continui e alternati, così come segnali audio. Il guadagno varia in modo semplice modificando solo il valore di una resistenza.

Il nome di "invertitore" deriva dal fatto che il segnale di uscita è invertito di 180° rispetto a quello in entrata, in pratica avremo, con un segnale di entrata positivo l'uscita negativa e viceversa.

Tecnica di controreazione

La precisione e la flessibilità dell'amplificatore operazionale deriva dall'uso della controreazione negativa. Utilizzando questo metodo generalmente miglioriamo le caratteristiche di operazione, benché si sacrifichi una gran parte del guadagno, o fattore di amplificazione.

Abbiamo detto che esiste una controreazione quando parte del segnale di uscita si introduce di nuovo nell'entrata. In pratica questo succede se abbiamo qualche componente, come in questo caso la resistenza R2, che unisce l'entrata V- dell'operazionale con l'uscita dello stesso. Il guadagno dell'amplificatore dipende direttamente dal valore di questa resistenza.

Il guadagno dipende dalla relazione fra due resistenze

Funzionamento

Il circuito ha un principio di funzionamento molto semplice. Il segnale di entrata si applica al terminale invertitore o negativo dell'amplificatore e il positivo o non invertitore si porta a massa. La resistenza R2, che va dall'uscita al terminale di entrata negativo, si chiama di reazione, perciò possiamo dire che abbiamo controreazione e questa è negativa. Dobbiamo tenere conto di alcuni aspetti nella controreazione negativa. La tensione di uscita sarà Vs= -(R2/R1)Ve, essendo il rapporto la relazione fra R2/R1, cioè il fattore di amplificazione per il quale bisogna moltiplicare la tensione di entrata per calcolare la tensione di uscita. Il segno meno è il risultato dell'inversione di segnale che realizza il circuito.

Amplificatore invertitore

COMPONENTI	
R1, R2	82K
R3	47K
R4	2K2
U1	LM741
LED7, LED8	

Il montaggio

Gli amplificatori operazionali si alimentano normalmente in modo simmetrico, cioè con due fonti di alimentazione, una positiva e l'altra negativa, collegate in serie in modo che il punto d'unione fra loro corrisponda alla tensione zero. Queste tensioni sono disponibili nel laboratorio, se prendiamo il punto V3 come zero risulta che V6 è +4,5 V in alto e (-) sarà -4,5 V in basso. In conclusione si utilizzano tre pile per l'alimentazione positiva e altre tre per la negativa, prendendo il punto di unione di entrambe come la massa del circuito. Perciò avremo +4,5 V e -4,5 V per alimentare i terminali di alimentazione dell'amplificatore operazionale. Con questo, se all'entrata abbiamo tensioni positive e negative, all'uscita avremo le stesse tensioni amplificate dal guadagno del circuito, però invertite nel segno. Nel circuito abbiamo messo due diodi LED invertiti, in modo che uno, LD8, si illumina con tensioni positive e l'altro, LD7, con tensioni negative all'uscita.

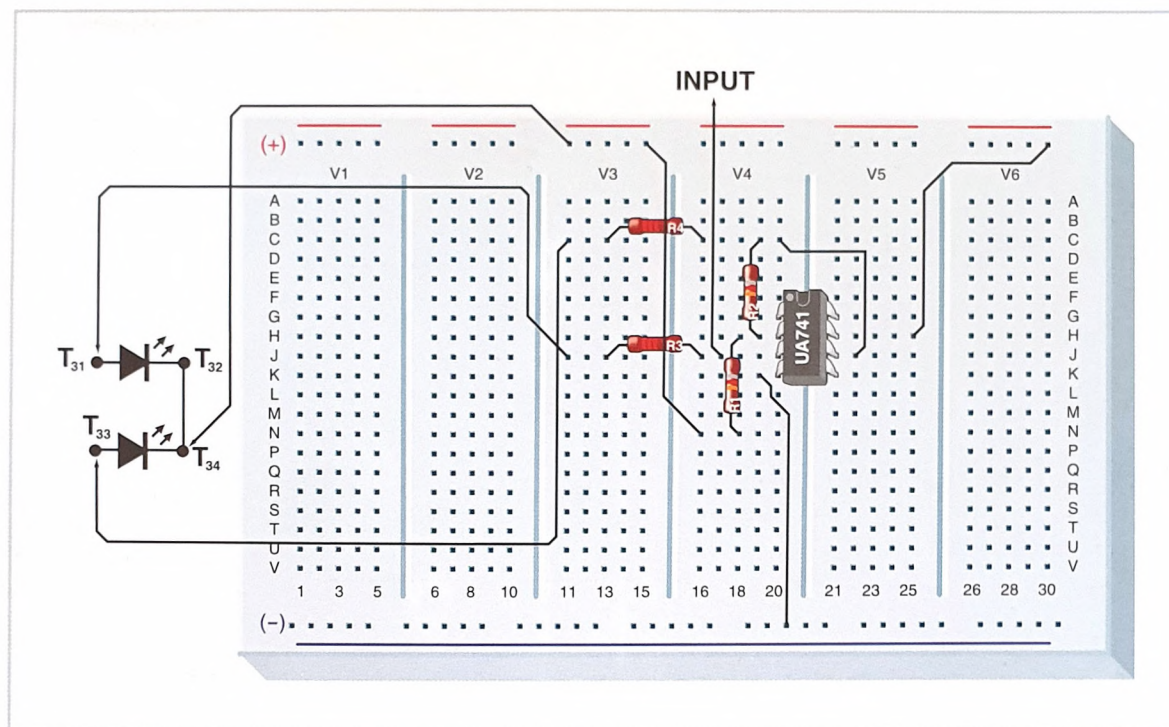
In questo circuito il rapporto è 1, poiché le due resistenze, R1 e R2, sono uguali, in questo modo possiamo, toccando nei punti di unione di ognuna delle pile (V1 e V6), introdurre nell'entrata INPUT, per esempio -3 V, ottenendo nell'uscita +3 V. Le tensioni di entrata sembrano avere cambiato in uscita la polarità, per cui, quando si applicano tensioni negative all'entrata si illuminerà il LED 7, che indica uscita con tensione positiva e viceversa.

Per ottenere una tensione simmetrica prendiamo la massa nel punto medio delle pile, cioè dalla fila di contatti indicata come V3.

Esperimento

Adesso possiamo cambiare la resistenza di controreazione R2 con una di 100 K e R1 con un'altra di 47 K, in modo che il guadagno sia un po' più di 2, per cui, se introduciamo le tensioni che abbiamo indicato prima, vedremo che per le tensioni di 3 e 4,5 V, sia positive che negative, la luminosità del diodo non varia, perché la tensione di uscita è la massima. In questi casi diciamo che l'amplificatore è saturato.

Amplificatore non invertitore

Il segnale di uscita è in fase con quello di entrata, ma amplificato.

Questo circuito amplifica il segnale applicato alla sua entrata, sia continuo che alternato. Il segnale di uscita è esattamente uguale a quello di entrata, amplificato dal guadagno, dato dalla relazione fra la resistenza di controreazione R2 e R1, che in questo caso non corrispondono con quelle di entrata.

Funzionamento

Anche in questo circuito esiste una controreazione, e vediamo che avviene tra l'uscita e il secondo terminale dell'amplificatore operazionale, attraverso la resistenza R2, ed è negativa. Il segnale di entrata si applica al terminale non invertitore o positivo dell'amplificatore, e il negativo, o invertitore, è quello incaricato di chiudere il laccio di rialimentazione fino a massa. La tensione di uscita si calcola moltiplicando il segnale di entrata per il guadagno del circuito Vs = A x Ve. Il guadagno del circuito si ottiene dividendo il valore di R2 con R1 e sommando l'unità al risultato.

Si può cambiare il guadagno variando una resistenza

Il montaggio

Benché l'amplificatore operazionale abbia entrate di alimentazione simmetriche, permette anche l'alimentazione asimmetrica e, supponendo che le tensioni di uscita non si invertano, daremo un margine di uscita da 0 a 9, alimentando il circuito con questa tensione direttamente fra V6 e (-). L'uscita, il piedino 6 dell'operazionale, si connette alla resistenza R4 di polarizzazione del diodo LED 8. Possiamo portare l'entrata a differenti tensioni utilizzando i contatti da V1 a V6, perciò toccheremo ogni contatto delle pile per ottenere tensioni multiple da 1,5 a 9 V; in questo modo vedremo che i due diodi LED si illumineranno solo quando si applicano tensioni positive. In questo circuito le resistenze R1 e R2 sono dello stesso valore, pertanto il guadagno risulta 2. Vale a dire la tensione di uscita sarà il doppio di quella di entrata, per tensioni di entrata basse si apprezza la differenza di illuminazione fra il diodo LED 7, che si utilizza come testimone della ten-

Amplificatore non invertitore

COMPONENTI	
R1, R2	82K
R3, R4	2K2
U1	LM741
LED7, LED8	

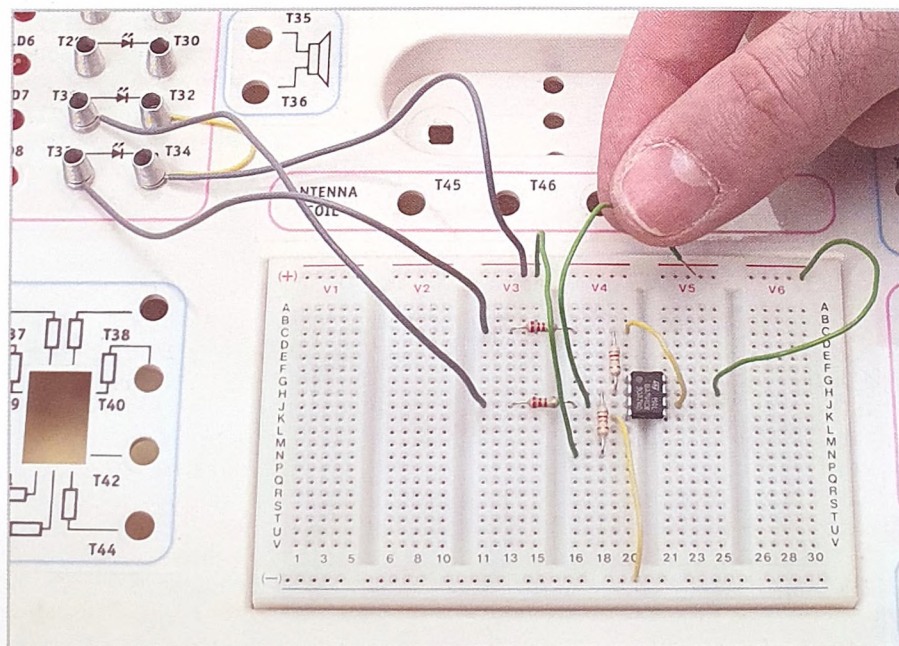
saturiamo l'uscita, mentre all'entrata c'è una tensione molto minore, perciò i due diodi avranno una luminosità abbastanza diversa.

sione di entrata, e il LED 8, che è il testimone di uscita.

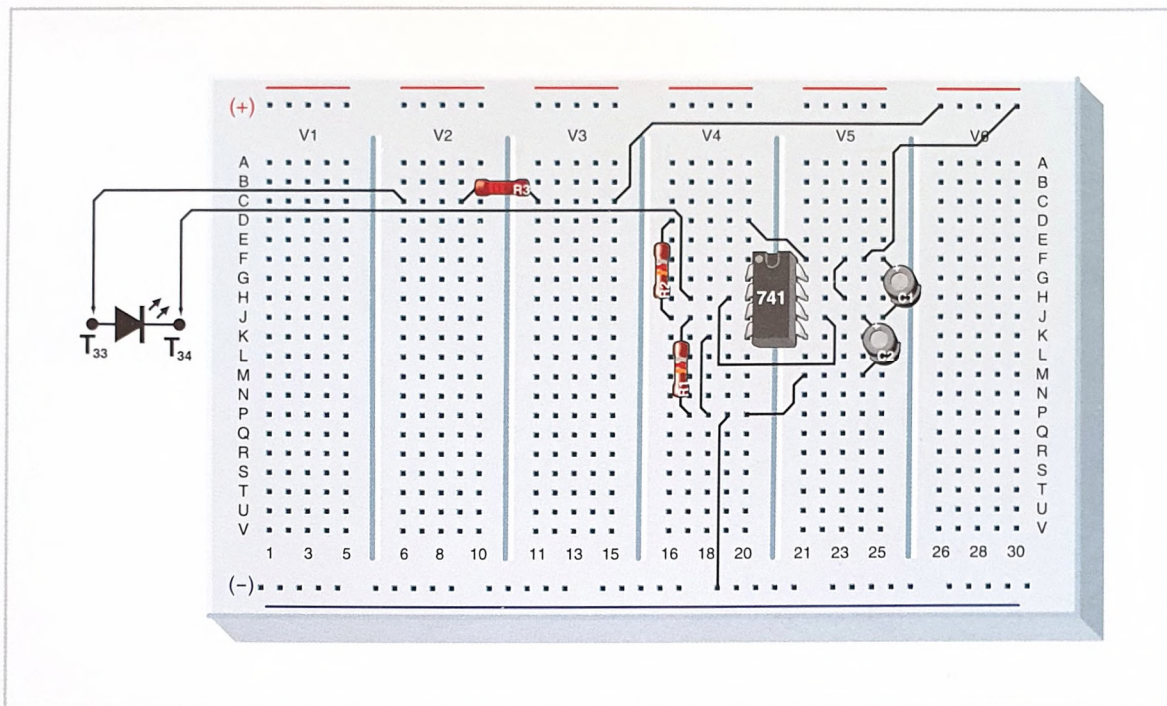
L'uso dei due diodi LED indicatori ci permette di verificare l'effetto dell'amplificazione dell'uscita rispetto all'entrata, soprattutto quando

Esperimento

Per ottenere un guadagno unitario, cioè che la tensione di entrata sia esattamente uguale a quella di uscita, dobbiamo mettere una resistenza R1 molto maggiore di R2. Per esempio potremmo mettere R1=1M e R2=82K. Se al contrario vogliamo ottenere un grande guadagno nel circuito, possiamo invertire R2 e R1 in modo che il guadagno teorico sia (1M/82K+1)= 13,2.

In questo modo avremo sempre l'uscita saturata a 9 V se introduciamo tensioni multiple di 1,5 V e osserveremo che la luminosità del diodo è sempre la stessa.

Le tensioni di entrata e di uscita si visualizzano attraverso i rispettivi diodi LED.

Inseguitore di tensione

Il circuito si utilizza per amplificare corrente, mantenendo la tensione di uscita uguale a quella di entrata.

Questa è senza dubbio l'applicazione più semplice che si può dare a un amplificatore operazionale, poiché non necessita di alcun tipo di componente addizionale. Questo non diminuisce la sua importanza, poiché è un circuito di grande utilità in molte applicazioni. Si può utilizzare, per esempio, per ottenere alimentazioni simmetriche di basso consumo, o per amplificare la corrente di sensori di temperatura, umidità, precisione eccetera.

La tensione di uscita "segue" quella di entrata

Funzionamento

Andiamo ad analizzare rapidamente il circuito segnato nello schema con la lettera (A), per verificare che non presenta alcun tipo di problema. In primo luogo vediamo che ha l'uscita unita all'entrata V-, il che ci indica che c'è rialimentazione. La tensione di entrata è uguale a quella di uscita. Questo circuito ha come caratteristica molto importante la sua alta impedenza di entrata, ciò vuol dire che la sua entrata consuma pochissima corrente e pertanto non altera la corrente in uscita dei circuiti ai quali si collega.

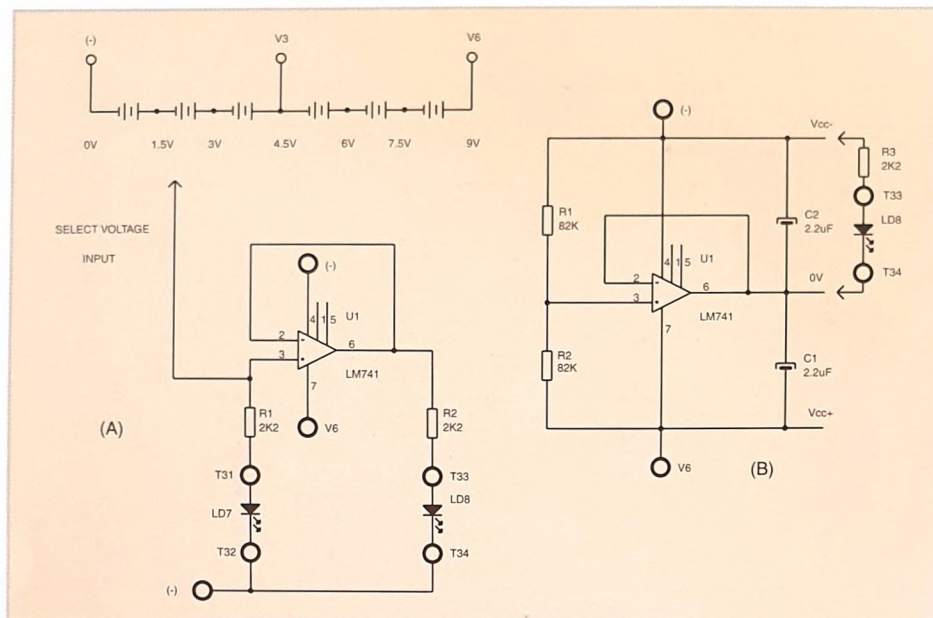
Se ad esempio abbiamo un sensore che fornisce una corrente molte debole non possiamo collegarlo ad un circuito di bassa impedenza, perché equivarrebbe a collegargli in parallelo una resistenza che consumerebbe fino ad annullare o ridurre il debole segnale del sensore, basterà pertanto interporre fra questo circuito di bassa impedenza e il sensore un circuito inseguitore risolvendo così il problema.

Inseguitore

Il nome di inseguitore deriva dal fatto che la tensione di uscita segue le variazioni del segnale di entrata, che è praticamente lo stesso segnale, ma con la possibilità di fornire più corrente.

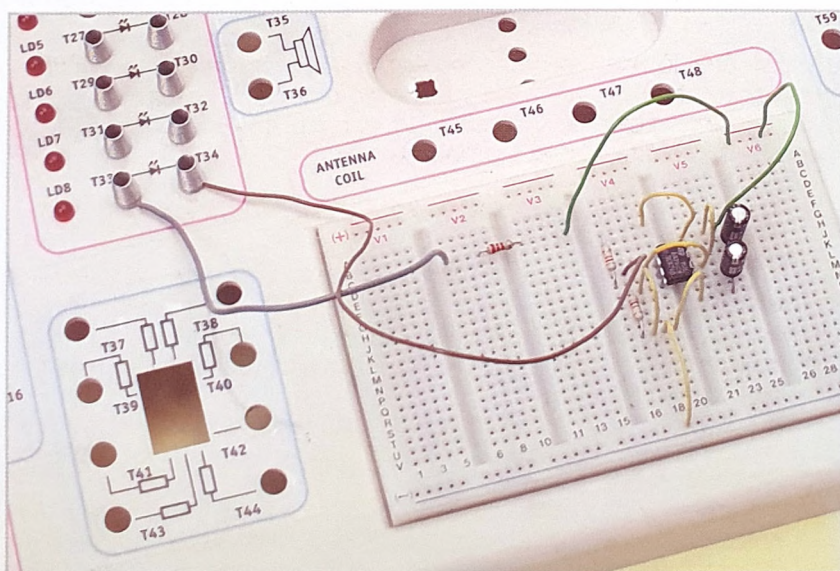
Per verificare il funzionamento del nostro circuito dobbiamo toccare ognuno dei contatti delle pile.

Poiché abbiamo un diodo LED in entrata e un altro in uscita, vedremo che la luminosità è esattamente la stessa quando esiste la stessa tensione in entrambi i punti.

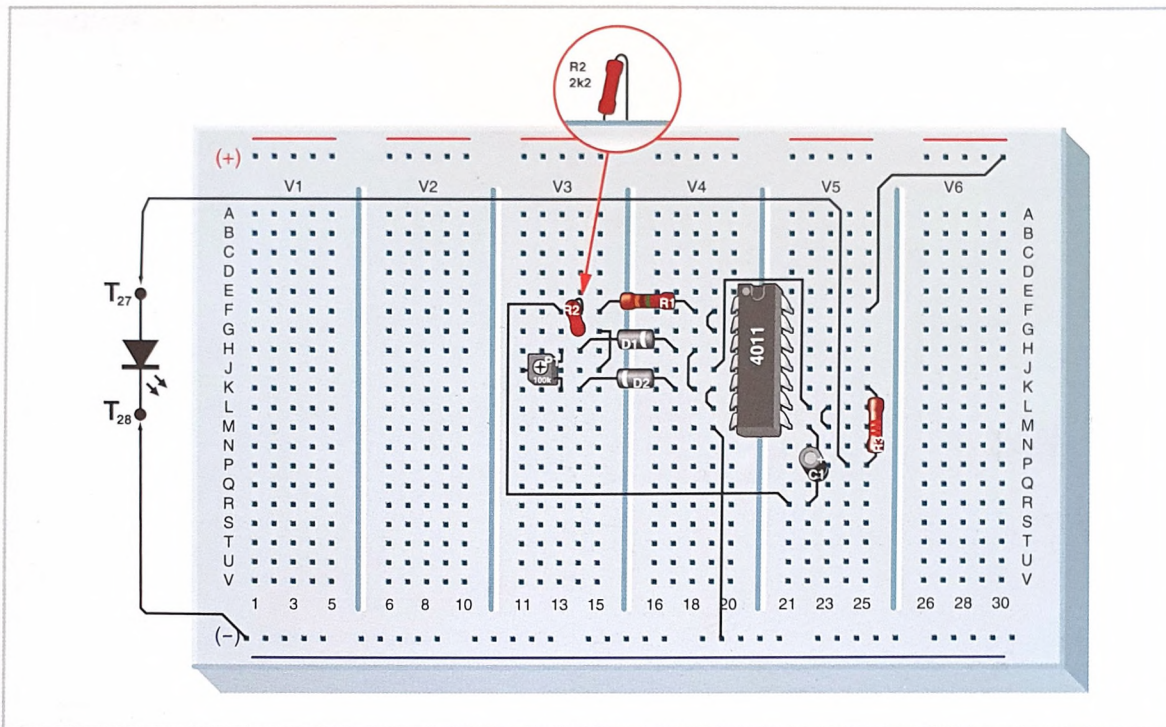
Inseguitore di tensione

COMPONENTI	
Circuito A:	
R1, R2	2K2
U1	741
LED7, LED8	
Circuito B:	
R1, R2	82K
R3	K2
C1, C2	2,2 µF
U1	741
LED8	

Prove sperimentali

Andiamo a montare il circuito (B) per osservare come possiamo ottenere un'alimentazione simmetrica che può alimentare dei circuiti con consumo molto basso senza alcun problema. Con le resistenze dividiamo 9 V per introdurre 4,5 V nell'entrata V+, che sarà pertanto la tensione di uscita e che prenderemo come riferimento, in modo che fra questo punto e V6 si avrà +4,5 V e fra questo punto e (-) si avrà -4,5 V. Questo lo possiamo verificare collocando una resistenza di 2K2 collegata in serie con un diodo LED. Se colleghiamo fra Vcc- e 0 V il diodo LED non si illuminerà, perché sarà polarizzato all'inverso essendo la tensione negativa, perciò se invertiamo i cavi si illuminerà.

Se ora colleghiamo Vcc+ con il cavo che proviene dalla resistenza e quello del catodo del LED a 0 V, il LED si illuminerà. Questo circuito si può utilizzare per alimentare un altro amplificatore operazionale in modo simmetrico, a partire da una alimentazione asimmetrica. Questo circuito si può verificare con un diodo LED e una resistenza. Se colleghiamo la resistenza con il LED tra Vcc- e 0 V, il diodo LED non si illuminerà perché sarà polarizzato all'inverso, poiché la tensione è negativa, quindi se invertiamo i cavi si illuminerà. Se ora tocchiamo in Vcc+ con il cavo che è nella resistenza e quello del catodo T34 a 0 V si illuminerà.

Circuito che permette di ottenere una tensione simmetrica partendo da una asimmetrica.

Astabile a ciclo variabile

Questo oscillatore ci consentirà di variare il tempo in cui il segnale di uscita è 'uno' o 'zero'.

Finora abbiamo visto il montaggio di un oscillatore astabile che ci forniva un segnale di uscita con un ciclo di lavoro del 50%, vale a dire che il segnale si mantiene a livello alto per lo stesso periodo di tempo in cui si mantiene a livello basso. Con questo nuovo circuito possiamo variare il ciclo di lavoro e creare segnali che rimangano a livello alto per molto tempo e a livello basso per poco tempo, o viceversa. Il valore dei componenti è stato studiato per fare in modo che la frequenza sia abbastanza bassa e perché si possa vedere il segnale di uscita mediante un diodo LED. L'uscita dell'oscillatore, terminale 4 del circuito integrato, non deve essere usata come uscita, ma viene connessa a una porta invertente tra l'uscita e il diodo LED utilizzato come spia del funzionamento del circuito.

Funzionamento

I componenti che consentono di regolare il tempo in cui il segnale di uscita permane a livello alto o basso, sono i diodi D1 e D2 e il potenziometro P1, il quale in realtà ci permetterà di variare la resistenza e, pertanto, i tempi. Per regolare indipendentemente la variazione dei tempi di carica e scarica, il diodo D2 verrà utilizzato per la carica e il diodo D1 per la scarica. Il diodo LED, come è abitudine, ci servirà come spia dello stato dell'uscita. Come sempre, il tempo di carica imposto da una rete R–C è quello che segna la temporizzazione.

Il ciclo di lavoro viene regolato mediante un potenziometro

Calcoli

Se montiamo il precedente circuito, otterremo all'uscita una frequenza che viene data dalla formula f = 1/(2,2*(R2 + P1)*C1) = 1/(T1 + T2). In questo modo la frequenza dell'uscita dipende dal valore di una resistenza e di un condensatore, come succede in tutti i circuiti oscillatori. Tuttavia, in questo specifico caso possiamo rendere indipendente i tempi nello stato alto: T1 = 1,1*Ra*C1 e T2 = 1,1*Rb*C1, che è il tempo nello stato basso. Dato che Ra è la resistenza somma di R2 più la parte di resistenza del potenziometro che si trova collegata al diodo D1. Rb è la somma del potenziometro che si trova vicino all'altra parte del potenziometro P1 più R2. Se sommiamo i due

Astabile a ciclo variabile

COMPONENTI	
R1,	1M
R2,R3	2K2
P1	100K
D1,D2	1N4001
C1	22µF
U1	4011
LED5	

tempi, potremo verificare che il risultato è la prima formula. La resistenza R1 è necessaria perché il circuito oscilli e il suo valore deve essere abbastanza alto; per assicurare un buon funzionamento deve essere compresa tra le 5 e le 10 volte il valore di P1 + R2. Per quanto concerne il condensatore, non è raccomandabile superare i 100 µF perché potrebbero crearsi problemi di instabilità.

Avviamento

Per provare il circuito con tutti i componenti montati, basterà collegare questi ultimi come viene indicato nello schema, perché il circuito inizierà a funzionare quando l'alimentazione verrà collegata. Per visualizzare il segnale quadrato all'uscita, '1' e '0' alternati, viene utilizzato uno dei LED già installati nel laboratorio. Non ci si deve dimenticare – lo ripetiamo perché è un errore frequentissimo – di collegare correttamente i terminali dell'alimentazione del circuito integrato.

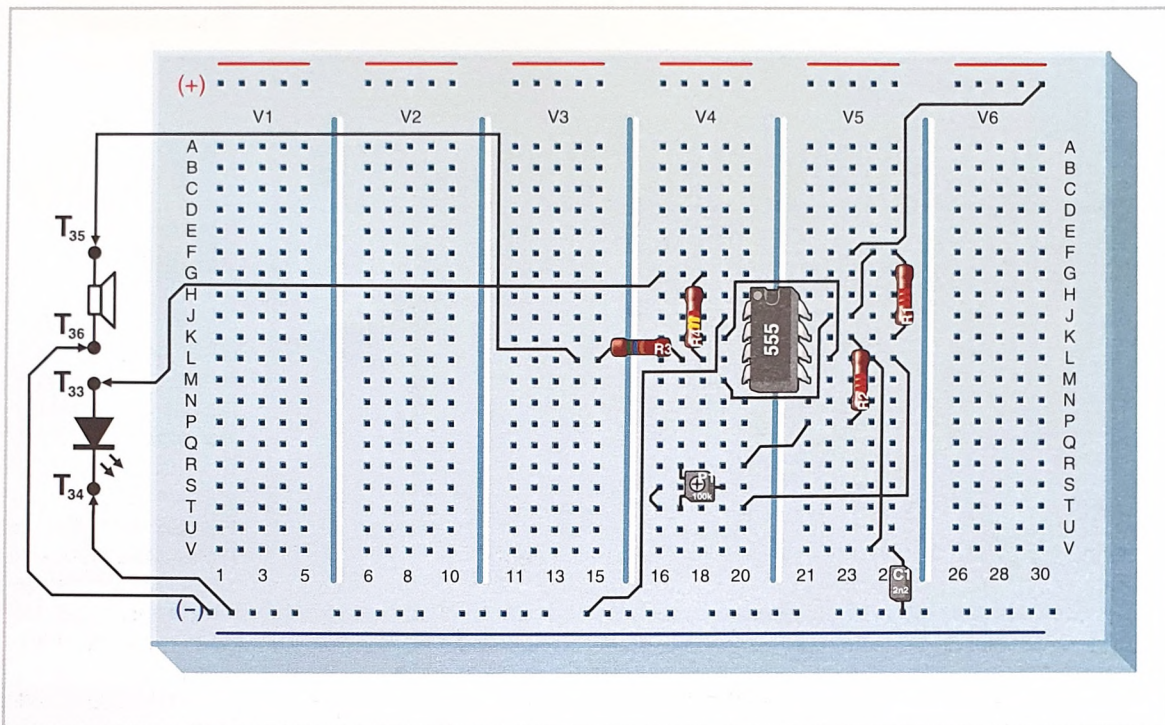
Il potenziometro P1 viene utilizzato per regolare il tempo in cui il segnale di uscita permane a livello alto o a livello basso.

Variamo la frequenza

Il periodo totale del segnale di onda quadra ottenuto all'uscita dell'oscillatore astabile è di circa 5 secondi, dato che si possono variare gli stati alto e basso all'interno di questi margini. In questo modo, se regoliamo il potenziometro completamente sul lato sinistro, avremo un piccolissimo livello alto essendo Ra = 2K2, T1 = 0,1 sec. e l'uscita sarà sempre a livello basso. Regolandolo, invece, completamente a destra, si verifica esattamente l'opposto, dato che sarà sempre a livello alto. Variando R2, cambiamo il periodo del segnale totale; possiamo effettuare diverse sperimentazioni modificandone il valore.

Con P1 si regola la relazione tra T1 e T2; T, però, rimane costante.

Oscillatore astabile con 555

Il "timer" del 555 facilita la progettazione dei circuiti astabili.

Una delle classiche configurazioni di questo circuito integrato temporizzatore è quella dell'oscillatore astabile. Il periodo di tempo T1 in cui il segnale di uscita permane a livello alto '1' e a livello basso '0', si determina facilmente scegliendo gli adeguati valori delle due resistenze e del condensatore esterno.

Il circuito

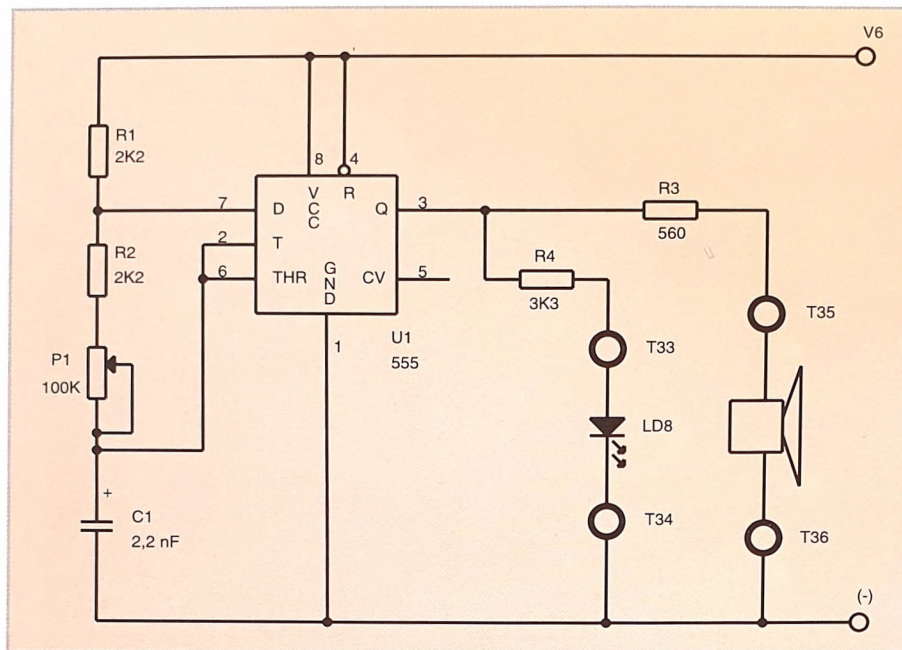
Il circuito del nostro esperimento ci permetterà di ottenere un segnale di uscita di cui potremo variare la frequenza regolando il cursore del potenziometro P1. Se la frequenza è bassa, il segnale di uscita cambia molto lentamente di livello; negli istanti in cui rimane a livello alto, il diodo LED si illuminerà. Se, invece, aumentassimo la frequenza, non riusciremmo a vedere quando il diodo LED si spegne perché, apparentemente, ci sembrerà sempre acceso.

Approfittando del fatto che questo circuito può erogare una corrente di uscita abbastanza elevata, possiamo collegargli all'uscita un altoparlante di modo che, quando la frequenza di uscita è all'interno della banda audio, lo si sentirà nell'altoparlante e potremo verificare "a orecchio" se l'oscillatore sta funzionando.

Controllo dei tempi

I tempi, sia allo stadio alto che a quello basso, sono indipendenti dall'alimentazione, perché dipendono dai valori delle resistenze e del condensatore. Per calcolare il periodo di tempo in cui l'uscita rimane a livello alto, applicheremo direttamente la seguente formula: $T1 = 0,7(R1 + R2 + P1)C1$, mentre per calcolare T2, livello basso, applicheremo quest'altra formula: $T2 = 0,7(R2 + P1)C1$. La differenza tra i due tempi è data dal valore della resistenza R1, che farà sì che T1 non sia mai uguale a T2. Se il valore di R1, per ipotesi, fosse molto minore di quello di P1 + R2, potremo avere valori approssimativi. La frequenza di uscita sarà, $f = 1/(T1 + T2)$ e potremo calcolarla direttamente grazie alla formula: $f = 1,44/(R1 + 2(R2 + P1))C1$. Affinché i calcoli siano corretti, esprimeremo le resistenze in Ohm e la capacità in Farad.

I valori dei componenti sono facilmente calcolabili

Oscillatore astabile con 555

COMPONENTI	
R1, R2	2K2
R3	560 Ω
R4	3K3
P1	100 K
C1	2,2 nF
U1	555
LD8	
Altoparlante	

Avviamento

Nel nostro montaggio, inizieremo con un condensatore da 2,2 nF che ci permetterà di ottenere delle frequenze dai 6,13 KHz ai 99,18 KHz, variando solamente il potenziometro P1. Le frequenze sono alte abbastanza da rendere possibile la visione del lampeggio del LED, che rimarrà sempre acceso; potremo, comunque, udire perfettamente il segnale se avremo nel potenziometro una resistenza bassa. Sappiamo che l'orecchio può percepire frequenze fino a circa 16 KHz e, se abbiamo un orecchio fine, anche fino ai 18 KHz; pertanto se in P1 partiamo da una resistenza zero potremo percorrere tutte le frequenze, mentre ne stiamo aumentando il valore, fino a cessare di sentirlo, perché potremo raggiungere frequenze di 99 KHz.

Per limitare la corrente di uscita dell'integrato, e non distruggerlo, è importante inserire in serie la resistenza da 560 con l'altoparlante.

Sperimentazione con i condensatori

Vediamo quale effetto si produce cambiando il condensatore C1 da 2,2 nF con un altro da 100 nF. Variando P1, potremo ottenere una gamma di frequenze basse (dai 135 Hz ai 2.185 Hz), che non potremo vedere mediante l'accensione del LED, ma che potremo sentire a orecchio in tutti i loro valori. Se, adesso, modifichiamo il valore del condensatore a 2,2 nF, la gamma delle frequenze si abbasserà fino a pochi Hertz e il suono sarà molto simile a un "clac clac".

Potremo provare anche con condensatori maggiori, ad esempio, da 10 o 22 µF: osservando quando si accende e quando si spegne il diodo LED, otterremo così valori di tempo misurabili con un cronometro.

Sperimentazione con le resistenze

Possiamo cambiare anche il valore delle resistenze. Per lavorare, lasceremo il condensatore da 2,2 µF, mentre cambieremo i valori delle resistenze così da ottenere dei tempi T1 e T2 maggiori.

Mettendo una R1 da 18 K e una R2 da 10 K, i tempi diventeranno considerevolmente maggiori e potremo anche cronometrarli. Per tempi molto grandi, dovremo mettere resistenze da 220 K e da 470 K.

Oscillatore monostabile con 555

Il periodo di tempo in cui l'uscita permane ad alto livello può essere calcolato con precisione.

Tutti abbiamo premuto un pulsante per accendere una luce che dopo un determinato periodo di tempo si spegne: è esattamente il comportamento di un monostabile collegato, in questo caso, ad una lampadina. Questo tipo di montaggio si chiama monostabile perché possiede soltanto uno stato stabile. Il circuito, normalmente, ha la sua uscita a '0' e se introduciamo alla sua entrata un segnale – il segnale di accensione, così chiamato perché attiva il temporizzatore –, altro non è che un cambiamento da '0' a '1', l'uscita si attiva per il periodo di tempo precedentemente calcolato e determinato dal valore di alcuni componenti esterni all'integrato.

Il circuito

Sono molte le applicazioni del nostro circuito, dato che possiamo utilizzarlo sempre quando vogliamo attivare un qualcosa per un determinato periodo di tempo. È un circuito molto preciso: può anche arrivare a emettere impulsi d'uscita che vanno da pochissimi microsecondi fino ad un minuto. Inoltre, neanche il fatto di funzionare per molto tempo non lo condiziona, perché, per quanto concerne la temperatura, è stabilissimo.

La temporizzazione inizia con il passaggio da '0' a '1' all'entrata di accensione.

Controllo della temporizzazione

La formula che determina direttamente il periodo di tempo in cui il segnale di uscita, cioè il terminale 3 del circuito, rimane ad alto livello, è la seguente: $T = 1{,}1(R1 + P1)C1$.

In situazione di riposo, quindi senza accendere il temporizzatore, l'uscita starà a '0' e il diodo LED LD8 rimarrà spento. Se, adesso, colleghiamo momentaneamente a (-) il terminale 2 del circuito integrato, provocheremo un impulso d'accensione del monostabile che farà passare ad alto livello l'uscita e rimarrà in questo stato per tutto il periodo di tempo, fissato grazie ai valori di alcuni componenti. Come abbiamo già detto, il livello alto dell'uscita si manifesta mediante l'accensione del diodo LED.

Avviamento

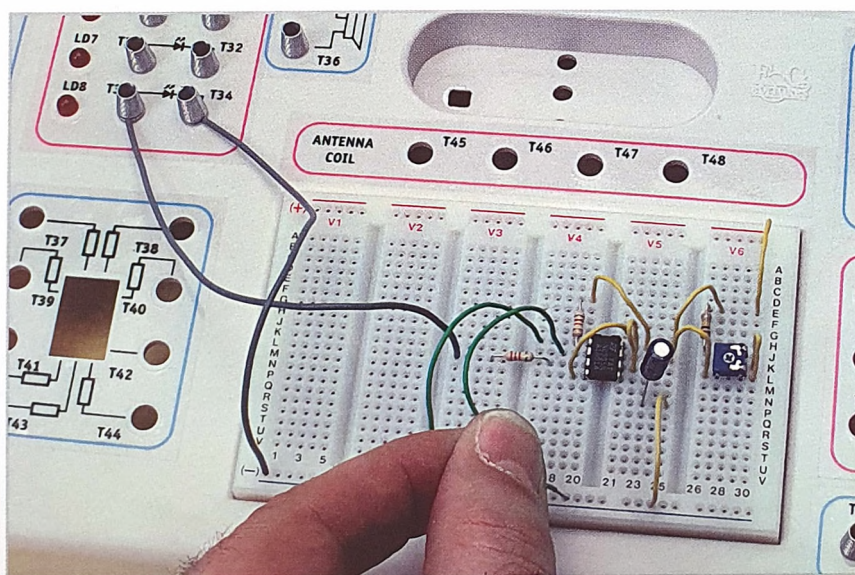
Per iniziare il nostro esperimento, partiamo con un condensatore C1 da 10 µF e

Oscillatore monostabile con 555

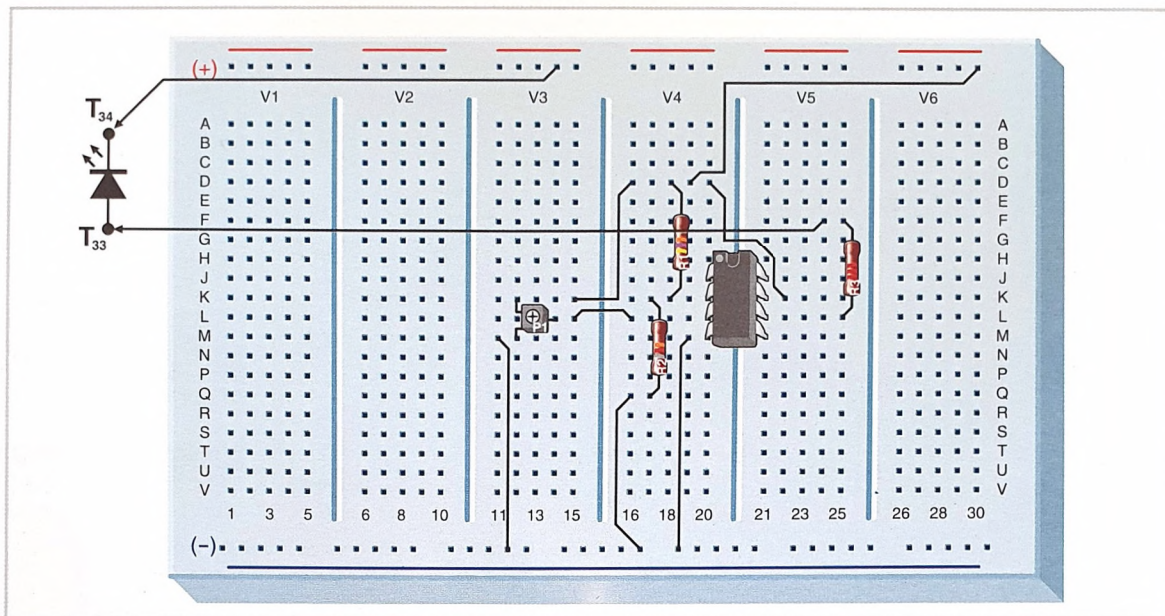
COMPONENTI	
R1	100 K
R2	3K3
R3	82
P1	100 K
C1	10 µF
U1	555
LD8	

con una resistenza R1 da 100 K. Con questi valori possiamo ottenere all'uscita un segnale da 1,1 secondi, quando il potenziometro è a '0', e da 2,2 secondi, quando è con la sua massima resistenza da 100 K. Trattandosi di tempi così piccoli, non si può distinguere bene la variazione di uscita quando varia il potenziometro, però se lo mettessimo sui valori estremi, ne percepiremmo visivamente l'effetto.

Variazioni

Una volta visto il funzionamento del circuito, introduciamo alcuni cambiamenti nei diversi componenti per vedere come, effettivamente, si producano i cambiamenti nella temporizzazione del segnale di uscita. Se utilizziamo per C1 un condensatore da 22 µF e per R1 una resistenza da 100 K, all'uscita otterremo una temporizzazione che cambierà dai 5,3 secondi agli 8 secondi. Se vogliamo raggiungere tempi di circa mezzo minuto, per R1 dovremo utilizzare una resistenza da 1M. Per tempi maggiori, potremo collocare condensatori e resistenze di maggior valore. Al contrario, per valori di tempi più piccoli, si devono ridurre i valori; se i tempi sono piccolissimi, però, sarà difficile vederli a occhio perché il LED si spegnerà velocemente.

Scegliendo adeguati valori per i componenti, si riesce ad ottenere una vasta gamma di tempi di temporizzazione.

Comparatore

L'uscita di questo comparatore può avere solo due valori possibili che sono approssimativamente i due valori (positivo e negativo) di alimentazione

Quando scende la sera, i lampioni delle nostre piazze e delle nostre strade si accendono automaticamente. Essi, tuttavia, non si accendono grazie a un temporizzatore che li attiva a una determinata ora, perché, in tal caso, si dovrebbe continuamente cambiare l'ora dell'accensione dato che le giornate sono più lunghe o più corte a seconda della stagione. In realtà, c'è un sensore che fornisce una tensione proporzionale al livello della luce, di modo che, conoscendo la tensione corrispondente alla notte, quando cioè vogliamo che si accenda, fissiamo questa tensione in un circuito che le confronti entrambe, accendendo il lampione quando una delle due supera l'altra. Questo confronto delle due tensioni e questa procedura su un circuito che attiva il lampione viene realizzato da un circuito comparatore. Per poter effettuare il confronto, una delle due tensioni deve essere fissata come riferimento; può essere quella dell'entrata invertente, o quella dell'entrata non invertente, dell'amplificatore operazionale.

Il circuito

Osservando il circuito, vediamo che esso non ha la resistenza di retroalimentazione tra l'uscita y e l'entrata: è la principale differenza che esso possiede rispetto a un amplificatore. Se stabiliamo che l'uscita a livello alto sarà: Vh = + 4,5 V e che l'uscita a livello basso sarà: Vl = – 4,5 V e che la tensione nel terminale positivo è: V+ e nel negativo è V, quindi, se

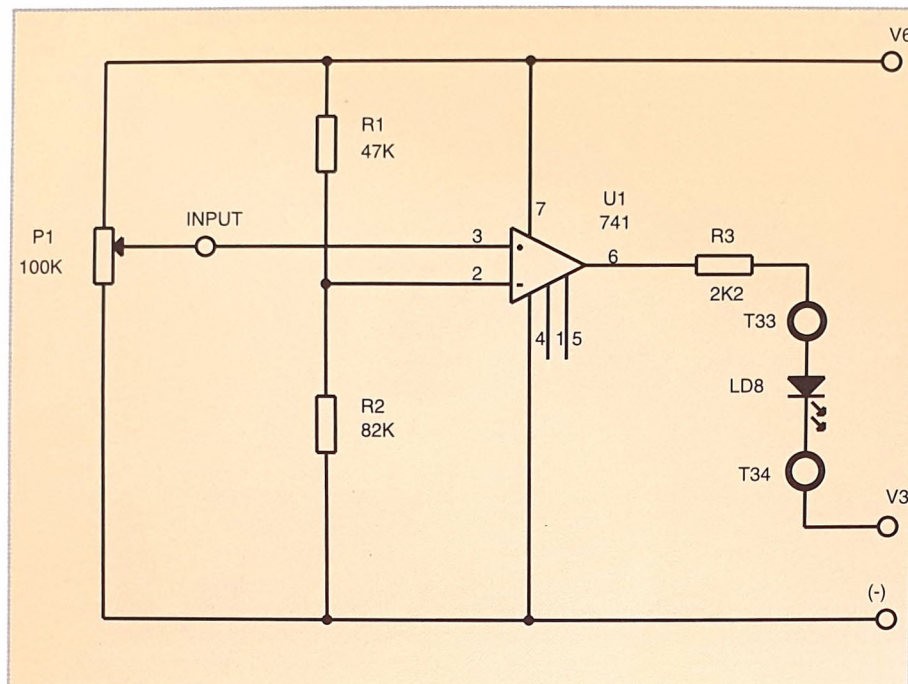
V + > V – uscita Vh e se

V – > V+ uscita Vl

Questo effetto viene prodotto perché, lavorando in un legame aperto, senza retroalimentazione tra entrata e uscita, il guadagno dell'operazionale montato come comparatore è teoricamente infinito.

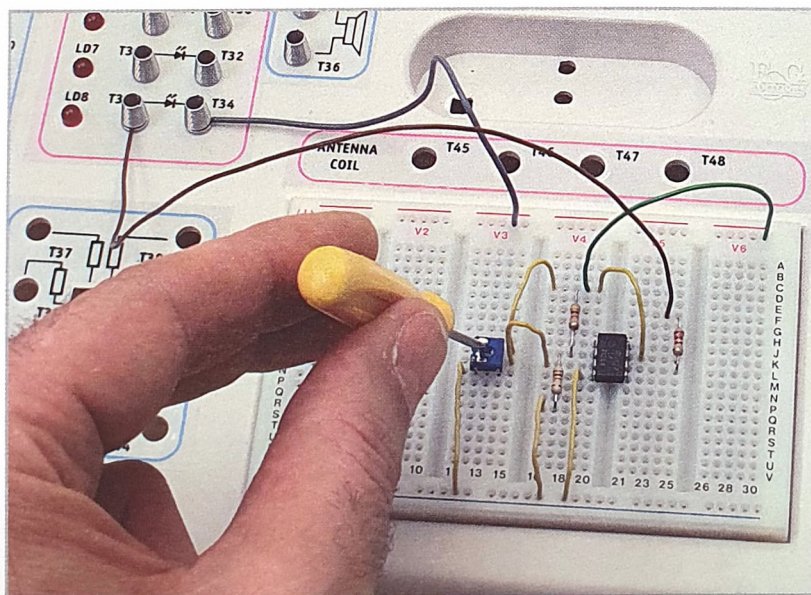
Il montaggio

Il montaggio del circuito è semplicissimo perché il suo scopo è spiegare perfettamente il suo funzionamento dato che si utilizzerà in molti esperimenti. Bisogna avere la precauzione di collegare correttamente le alimentazioni dell'amplificatore operazionale. In questo esempio, si è montato un divisore di tensione per dare una tensione di riferimento all'entrata inver-

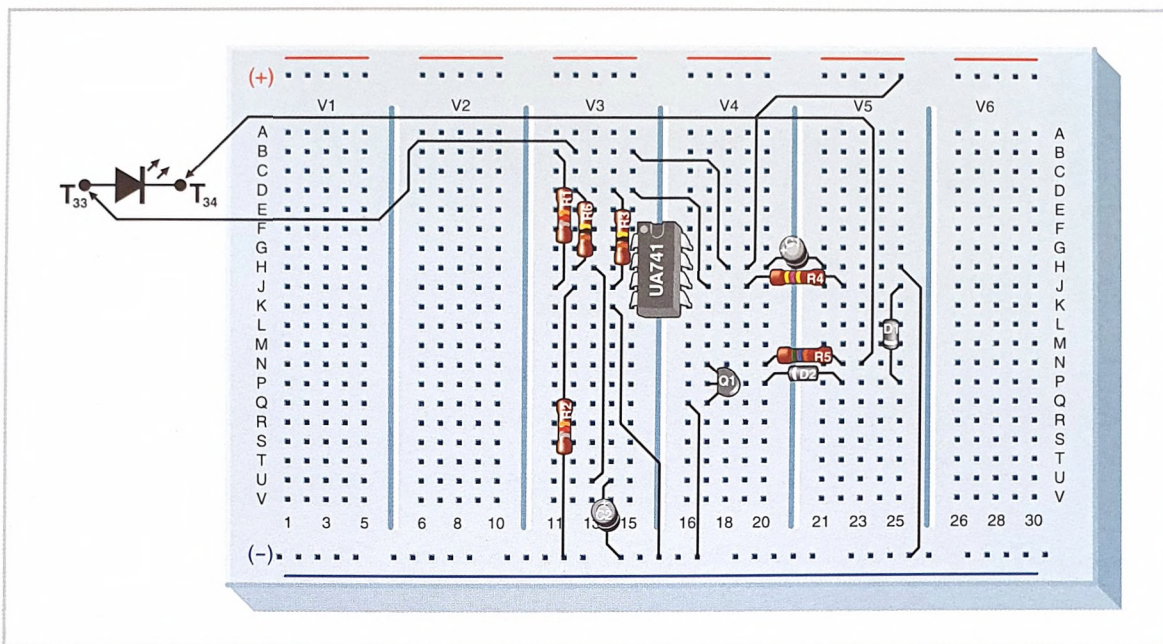
L'uscita è positiva se la tensione all'entrata non invertente dell'amplificatore operazionale è superiore a quella dell'entrata invertente

COMPONENTI	
R1	47 K
R2	82 K
R3	2K2
R7	100 K
U1	741
LED8	

tente dell'amplificatore operazionale; la possiamo facilmente calcolare: (82x9/(82+47))–4,5 = +1,22 Volt. All'altro terminale applichiamo la tensione d'entrata, che confrontata con quella di riferimento, applicata al terminale positivo produrrà un'uscita di basso livello se l'entrata sarà di 1,22 Volt, o di livello alto quando supererà questa tensione.

L'esperimento

Per provare il circuito inizieremo ruotando il potenziometro al minimo, di modo che nel terminale positivo dell'integrato avremo –4,5 Volt. In questo stato l'uscita sarà –4,5 Volt e, quindi, il diodo LED non si illumina. Cominciamo adesso a ruotere il potenziometro finché la tensione presente sul cursore supererà 1,22 Volt, e l'uscita di conseguenza incomincerà a variare verso un livello più alto; a partire da questa tensione il diodo LED si illuminerà. Possiamo anche invertire la tensione di riferimento e quella dell'entrata nei terminali dell'operazionale o cambiare la tensione di riferimento per vedere quello che succede. In realtà, il circuito viene utilizzato collegando al suo ingresso o "input" una tensione che proviene da un altro circuito, da un sensore a illuminazione per esempio. Per simulare la tensione, e al fine di osservarne il funzionamento, è stato utilizzato un potenziometro, grazie al quale possiamo ottenere una qualunque tensione continua compresa tra –4,5 Volt e +4,5 Volt.

Variando la tensione di ingresso, possiamo verificare che esiste un determinato livello d'entrata, il quale provoca il cambiamento dello stato di uscita.

Astabile con amplificatore operazionale

L'uscita del circuito è un'onda quadra.

Gli oscillatori astabili sono utilissimi in elettronica, ma hanno pochi modi con per generare segnali periodici, come un amplificatore operazionale, che possiamo, inoltre, alimentare in maniera asimmetrica, con il terminale d'alimentazione negativa collegato al negativo dell'alimentazione e con il positivo collegato a 6, 7, 5 o 9 Volt, che si ottengono rispettivamente dai punti di connessione segnati con V4, V5 e V6 della piastra dei prototipi di laboratorio.

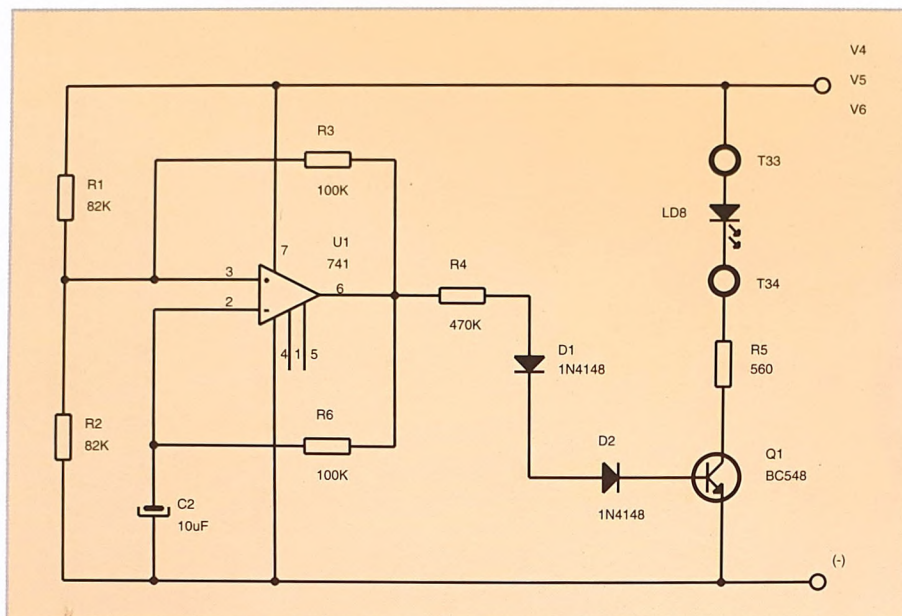
Il comparatore

Il funzionamento del circuito è facilissimo da capire se ricordiamo come funziona un comparatore. L'uscita del comparatore è approssimativamente il positivo dell'alimentazione, quando la sua entrata non è invertente, in questo caso il terminale 3, è a un livello di tensione superiore a quello dell'entrata invertente, terminale 2. Ma quando l'entrata invertente supera quella non invertente, l'uscita si avvicina al negativo dell'alimentazione; se l'alimentazione, però, non è simmetrica, l'uscita dell'amplificatore operazionale si abbassa, anche se non arriva a 'zero' rimanendo, approssimativamente, intorno a 3 Volt. La tensione d'uscita è un segnale quadrato a due livelli: quello alto è, approssimativamente, il positivo dell'alimentazione: V4, V5 o V6 e quello basso è di circa 3 Volt.

Il circuito

Osservando lo schema elettrico, vediamo che il riferimento del comparatore viene applicato all'entrata non invertente dell'amplificatore operazionale e dipende dalla relazione della resistenza R1/R2, oltre a quella della tensione dell'uscita che si applica a questo punto attraverso R3. Se supponiamo che questa uscita sia a livello alto – cioè a 9 Volt prendendo il positivo dell'alimentazione di V5 – il riferimento è approssimativamente di 6 Volt e il condensatore C2 si carica attraverso la resistenza R6, ma quando la tensione tra i morsetti di questo condensatore, che è la stessa che si applica all'entrata invertente, supera il livello di riferimento, l'uscita passa a livello basso, il livello di riferimento scende e il condensatore comincia a scaricarsi da circa 6 Volt fino a circa 3 Volt. Tuttavia, quando il livello della tensione nel terminale invertente (terminale 2 dell'integrato), scende sotto il valore di tensione applicato al terminale non invertente (3), l'uscita passa a livello alto. Il ciclo si ripete mentre il circuito rimane alimentato.

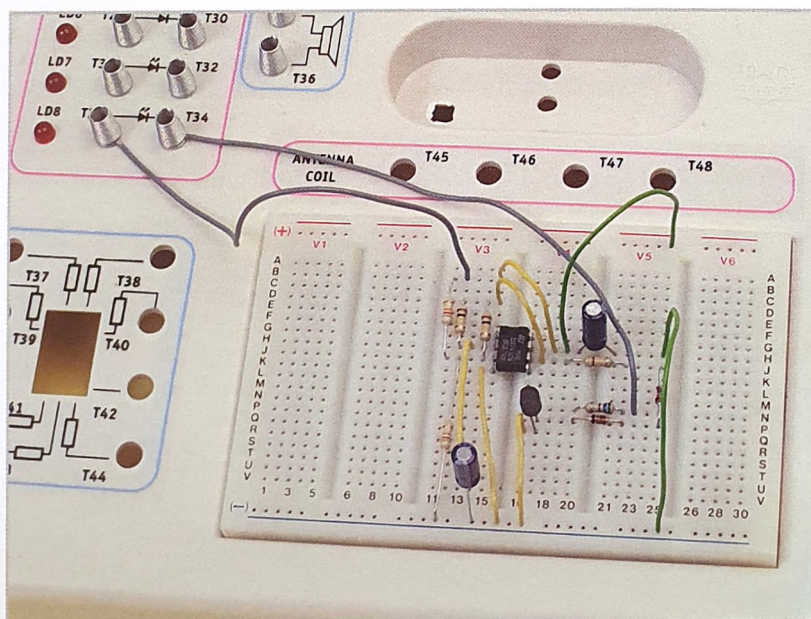
L'uscita viene visualizzata mediante un diodo LED

Astabile con amplificatore operazionale

COMPONENTI	
R1, R2	82 K
R3, R6	100 K
R4	470 K
R5	560 Ω
D1,D2	1N4148
Q1	BC548
U1	741
LED8	

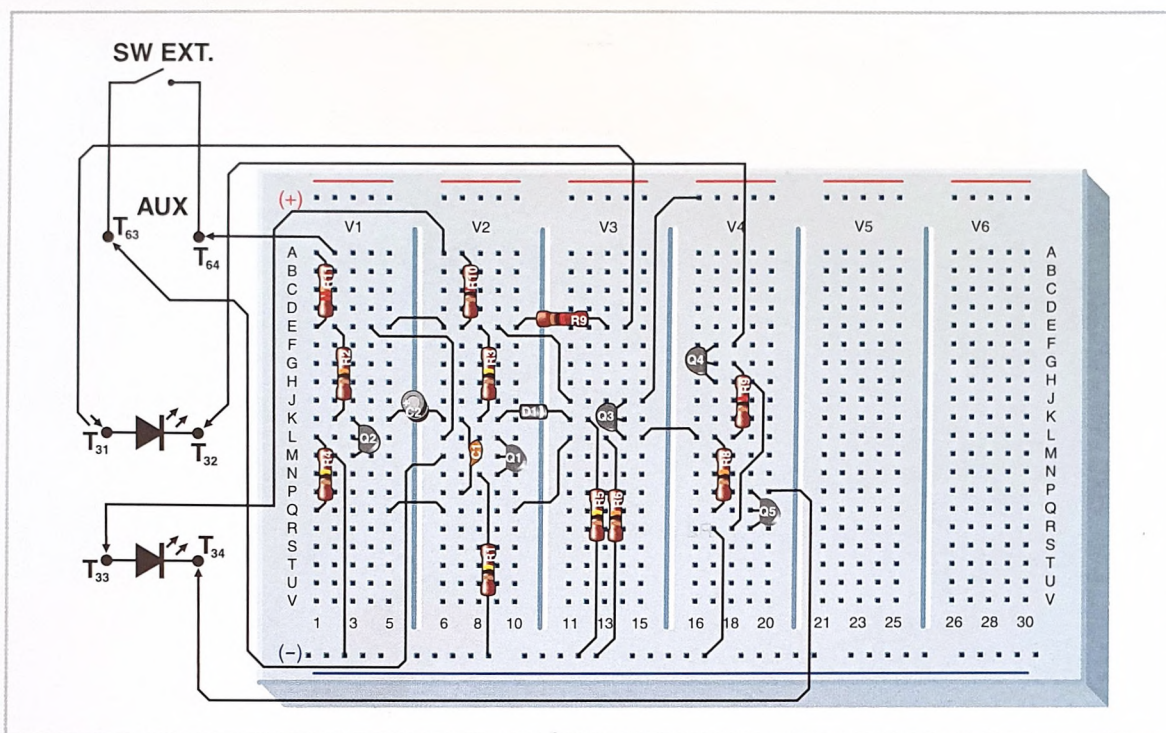
Esperimento 1

In realtà, l'uscita del circuito è il terminale 6 del circuito integrato, ma per visualizzarne lo stato si deve inserire un diodo LED e si deve utilizzare un transistor. Quando la corrente della base è sufficientemente alta, si illumina il diodo LED, mentre quando è bassa, quasi non si illumina. D'altra parte, quando ci sono 9 Volt all'uscita dell'integrato, la corrente di base del transistor aumenta e aumenta anche quella del collettore; di conseguenza, il diodo LED si illumina chiaramente.

Esperimento 2

Con i valori indicati nello schema, si ottiene un'oscillazione di circa 0,5 Hz, un ciclo, cioè, di circa 2 secondi. Per aumentare la frequenza, si deve diminuire il valore del condensatore C2, perciò è consigliabile provare diversi valori, tenendo conto che se l'oscillazione risultasse molto veloce, il LED sembrerebbe costantemente illuminato. Se raggiungiamo una frequenza all'interno della banda audio, il diodo LED può essere sostituito da un altoparlante. Invece, se vogliamo che l'intermittenza sia più lenta, possiamo aumentare il valore del condensatore C2, sostituendolo con un altro di maggior capacità oppure inserendo in parallelo diversi condensatori.

Astabile con amplificatore operazionale e alimentazione asimmetrica.

Monostabile con transistor

Il circuito, dopo essere stato attivato, rimane attivo per un determinato periodo di tempo.

Il circuito è un monostabile costruito con dei transistor. Quando si collega l'alimentazione, il diodo LED LD7 è illuminato e quando si chiudono i contatti tra i terminali ausiliari T64 e T63, LD7 si spegne e si illumina LD8 per un periodo di tempo determinato dai valori dei componenti del circuito.

Il circuito

Quando il circuito è a riposo, il transistor Q3 non conduce e, quindi, il transistor Q4 risulta polarizzato attraverso le resistenze R7 e R6 e il diodo LED7 si illumina; nel medesimo tempo il transistor Q5 non conduce e, pertanto, il diodo LED LD8 rimane spento. Quando, per un istante, si chiude il contatto esterno – cosa che può avvenire mediante un pulsante che si attivi con lo spostamento della porta – si produce un impulso che accende il monostabile, Q1 conduce per un istante e attraverso C1 si trasmette un impulso che fa entrare momentaneamente in conduzione il transistor Q5, fa illuminare il LED LD8 e spegnere l'LD7 perché il transistor Q4 rimane senza la polarizzazione della base e il transistor Q2 che conduce sta scaricando il condensatore elettrolitico C2. In capo a un determinato periodo di tempo, il circuito si ristabilisce e ritorna allo stato di riposo: ritorna ad illuminarsi il LED LD7 e a spegnersi l'LD8.

Esperimento 1

Ai morsetti esterni si collegano due cavi, dopo averne spelato le estremità e averle unite come se si trattasse di un sensore di allarme. Si osservi come il monostabile cambi di stato e rimanga così per un po' di tempo.

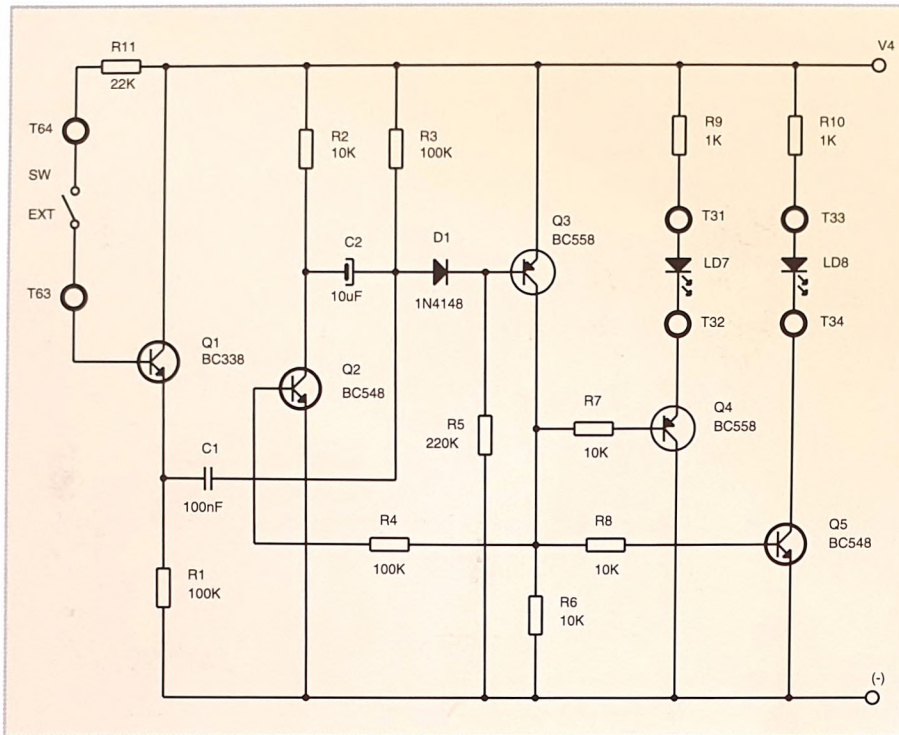
Esperimento 2

Si toglie il transistor Q1 e si collegano i terminali T64 e T65 nel punto occupato prima dalla sua base e dal suo collettore. Si vedrà che il circuito continua a funzionare perché Q1 agisce come interruttore elettronico.

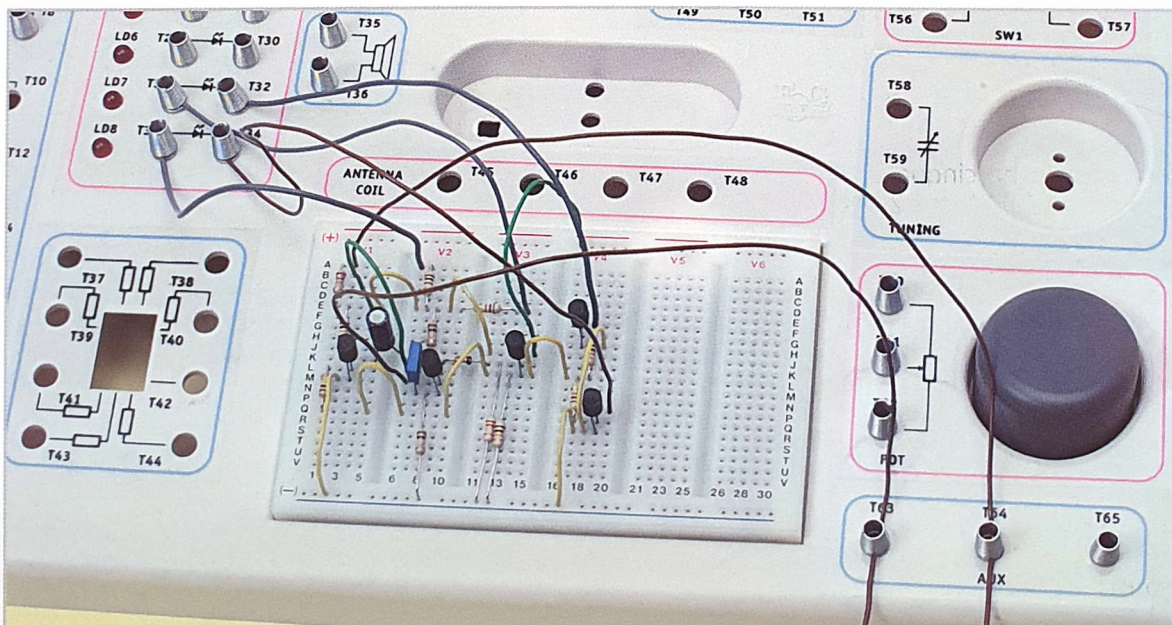
È un temporizzatore con transistor

Esperimento 3

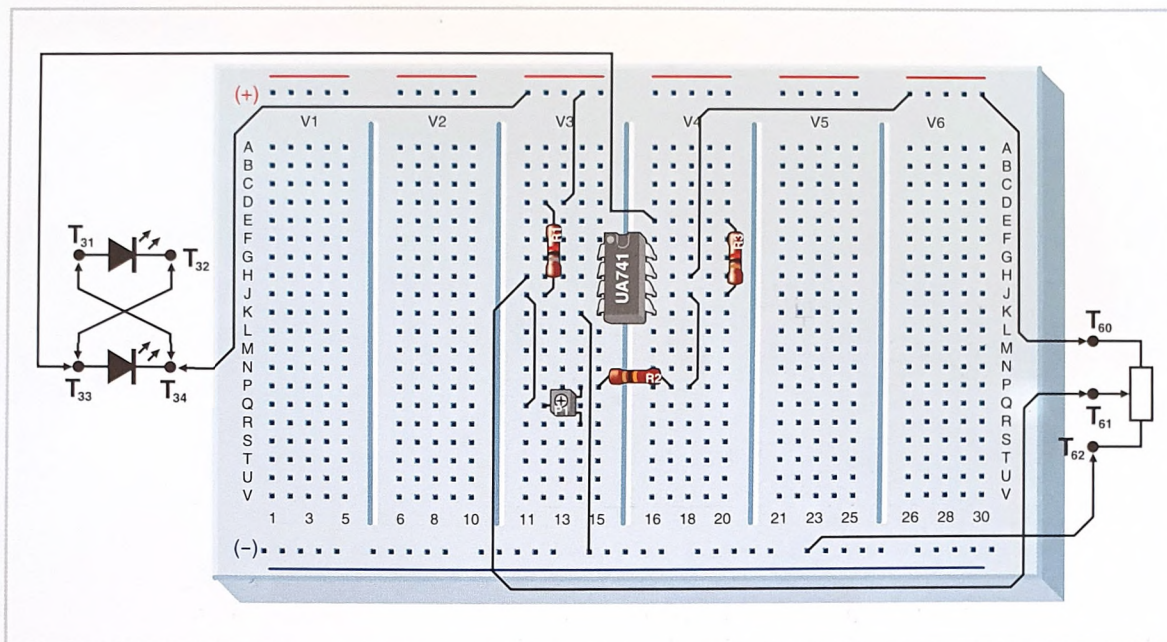
Si sostituisce il condensatore C2 con un altro di valore superiore, da 220 μF, per esempio, e si verifica l'effetto di questo cambiamento.

Monostabile con transistor

COMPONENTI	
R1, R2, R3	100 K
R2, R6, R7, R8	10 K
R5	220 K
R9, R10	1 K
R11	22 K
C1	100 nF
C2	10 µF
D1	1N4148
Q1	BC338
Q2, Q5	BC548
Q3, Q4	BC558
LD7, LD8	

Il montaggio

Questo circuito utilizza vari transistor: hanno tutti lo stesso contenitore e una identica distribuzione dei terminali, ma appartengono a tre diverse tipologie di transistor e non vanno assolutamente scambiati tra loro. È necessario, inoltre, rispettare l'orientamento del diodo e del condensatore elettrolitico.

Il circuito si attiva grazie a una istantanea chiusura del circuito esterno.

Comparatore con isteresi

Il cambiamento di livello dell'uscita si produce a due differenti livelli.

Abbiamo tutti avuto per le mani un termostato e ne abbiamo potuto osservare il funzionamento. Stabiliamo una temperatura e quando l'avrà raggiunta, esso si ferma; trascorso un certo periodo di tempo durante il quale la temperatura tende ad abbassarsi di alcuni gradi al di sotto del livello stabilito, il termostato ritorna a funzionare. Se non avessimo questo margine di temperatura, se, cioè, avessimo stabilito solamente un livello, il termostato si spegnerebbe e si accenderebbe costantemente alla minima variazione della temperatura. La scelta di lavorare con due livelli di tensione per cambiare un'uscita è possibile grazie ad un comparatore con isteresi.

Il circuito

Se analizziamo il circuito, vediamo che si differenzia dal tipico circuito comparatore per la particolarità di avere una resistenza, denominata "resistenza di retroalimentazione", tra l'entrata e l'uscita. Rispetto ad un amplificatore invertitore, è diverso perché la resistenza va dall'uscita all'entrata "+" dell'operazionale. Questo implica che l'operazionale non possa funzionare come amplificatore del segnale d'entrata, ma come comparatore con isteresi o a finestra. Il circuito deve essere alimentato simmetricamente (± 4,5 Volt), e quindi l'uscita avrà solamente questi due valori. Perché possa cambiare da un valore all'altro, deve potersi produrre una variazione che dipenderà dalla larghezza della "finestra" e che potremo variare grazie a P1. Il livello positivo dell'uscita può essere visualizzato mediante il LED LD8, mentre il negativo attraverso LD7.

La "finestra" è la gamma che intercorre tra due livelli

Livelli di cambiamento

Con la configurazione del circuito ed essendo la resistenza R1 collocata a massa, il passaggio dal positivo al negativo e quello dal negativo al positivo verrà a prodursi rispettivamente al medesimo livello della tensione d'entrata, ma saranno l'uno positivo e l'altro negativo. Ciò significa che se l'uscita è positiva, per farla diventare negativa, si dovrà raggiungere una tensione che sarà: V entrata = - Vcc R1/(R1 + R2 + P1). Invece, se la tensione d'uscita è negativa, dobbiamo arrivare a una tensione che sarà:
V entrata = Vcc R1/(R1 + R2 + P1) per riuscire ad avere un livello positivo. In questo circuito e con i valori specificati, abbiamo ottenuto dei valori per i quali si produce un cambiamento di livello che variano tra

Comparatore con isteresi

COMPONENTI	
R1	8K2
R2	10K
R3	1 K
P1	100 K
U1	741
POT	
LD7, LD8	

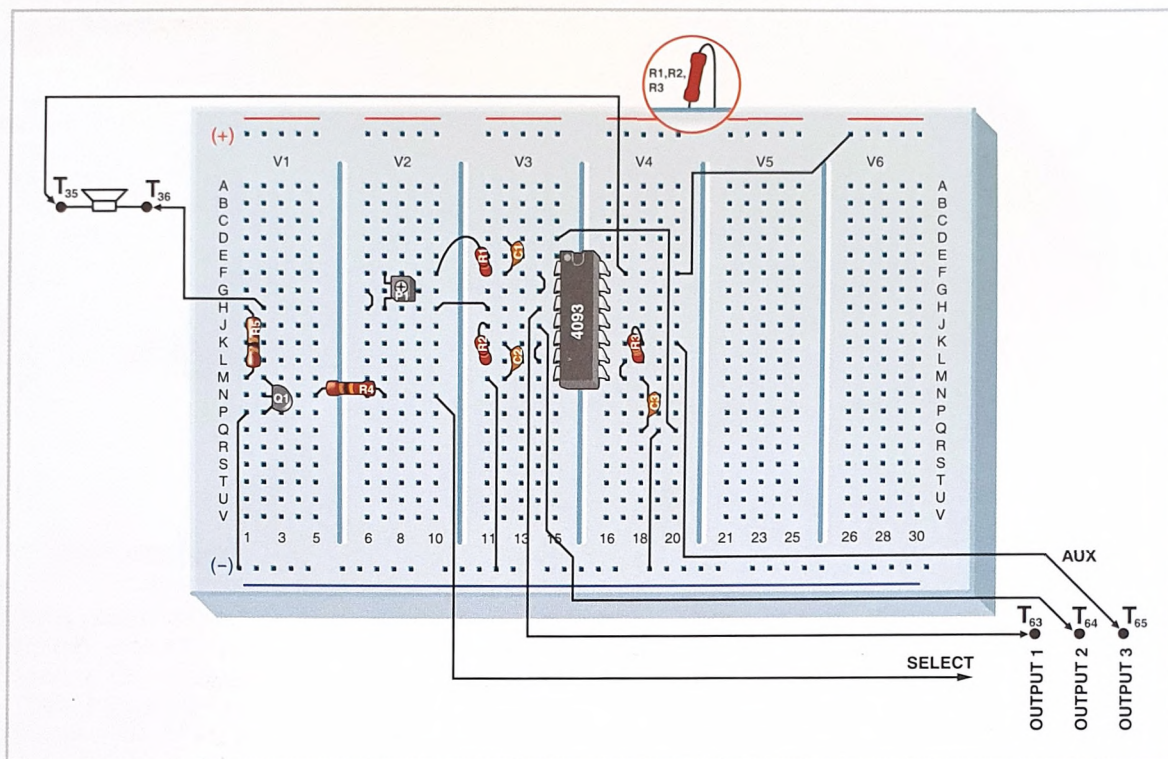
0,3 Volt, quando il potenziometro è al suo livello massimo e 2 Volt, quando invece è al suo livello minimo. Questo circuito ha molte applicazioni in ogni tipo di sensori e presto vedremo qualche applicazione grazie alle quali potremo verificare l'efficacia del suo funzionamento.

Mediante il potenziometro d'entrata, potremo variare la tensione tra -4,5 e +4,5 Volt.

Avviamento

Prima di collegare l'alimentazione del circuito, stabiliamo la resistenza minima in tutti e due i potenziometri. Con questo all'entrata, terminale 2 di U1, stabiliremo una tensione di -4,5 Volt, per cui l'uscita sarà -4,5 Volt (LD7 illuminato). Da parte sua, sul lato della finestra, avremo stabilito la larghezza della finestra massima, da -2 a +2 Volt. Collegheremo l'alimentazione ed effettueremo delle variazioni sul potenziometro per verificare se abbiamo un margine considerevole d'entrata prima che LD7 smetta di accendersi e si accenda LD8. Adesso, aumenteremo al massimo P1 e varieremo il potenziometro d'entrata, verificando così che il cambiamento dell'uscita si produce con dei piccoli cambiamenti dell'entrata: la finestra è attiva da -3 a +3 Volt.

Oscillatore con 4093

Possiamo costruire un oscillatore con un'unica porta Trigger Schmitt.

Abbiamo finora visto oscillatori astabili destinati ad uno specifico utilizzo, come il 555, e realizzati con transistor e con due porte logiche. Ora, realizzeremo un oscillatore astabile con un'unica porta logica. Può garantire una notevole precisione, se sono precisi i componenti – resistenza e condensatore – che lo compongono.

Oscillatore astabile con 4093

A partire da uno stadio invertente Schmitt CMOS, possiamo realizzare un eccellente clock astabile.

Con il 4093, che ha quattro porte NAND, è possibile costruire fino a quattro oscillatori astabili convertendo le porte in invertenti. Per far ciò è sufficiente unire tra loro due entrate di ognuna di queste porte. Questo tipo di astabile garantisce un funzionamento eccellente, con rampe di uscita molto pulite che non vengono influenzate dalla linea di alimentazione né da altre interferenze. La frequenza di funzionamento è determinata dai valori della resistenza collocata tra l'entrata e l'uscita e il condensatore tra l'entrata e il negativo dell'alimentazione. Questa frequenza può variare, più o meno, da pochi Hertz fino a 1MHz.

Il funzionamento dell'oscillatore è tale che il condensatore si carica e si scarica alternativamente attraverso la resistenza, senza cambiare la polarità. La frequenza di uscita viene data dalla formula: $f = 1/(0,8 \times R \times C)$.

In queste porte non esiste un livello di tensione indeterminato

Il circuito

Il montaggio consta di tre oscillatori. Il circuito che ha come oscillatore U1A ha un segnale formato da un'onda quadra la cui frequenza può essere variata attraverso il potenziometro P1. Con i componenti del montaggio, l'uscita del segnale ha una gamma di frequenze che va da 1,25 MHz quando il potenziometro è al suo minimo valore fino a qualcosa in più di 12 KHz, quando è al suo massimo valore. Per poter osservare il cambiamento di frequenza, colleghiamo l'uscita dell'oscillatore direttamente alla base del transistor attraverso la resi-

Oscillatore con 4093

COMPONENTI	
R1, R2	1 K
R3	18 K
R4	10 K
R5	100 Ω
P1	100 K
C1	1 nF
C2	22 nF
C3	10 nF
Q1	BC548
U1	4093
ALTOPARLANTE	

stenza R4. L'orecchio umano è capace di ascoltare fino ai 20 KHz e, quindi, si potrà ascoltare solamente una parte della gamma, quella che va dai 12 ai 20 KHz. Il circuito dell'oscillatore montato intorno alla porta U1B, ha una frequenza fissa di circa 56 KHz, pertanto questa frequenza non è udibile. L'ultimo degli oscillatori è configurato per una frequenza di 12500 Hz, per cui sarà perfettamente udibile quando si collega R4 all'uscita di U1C.

Avviamento

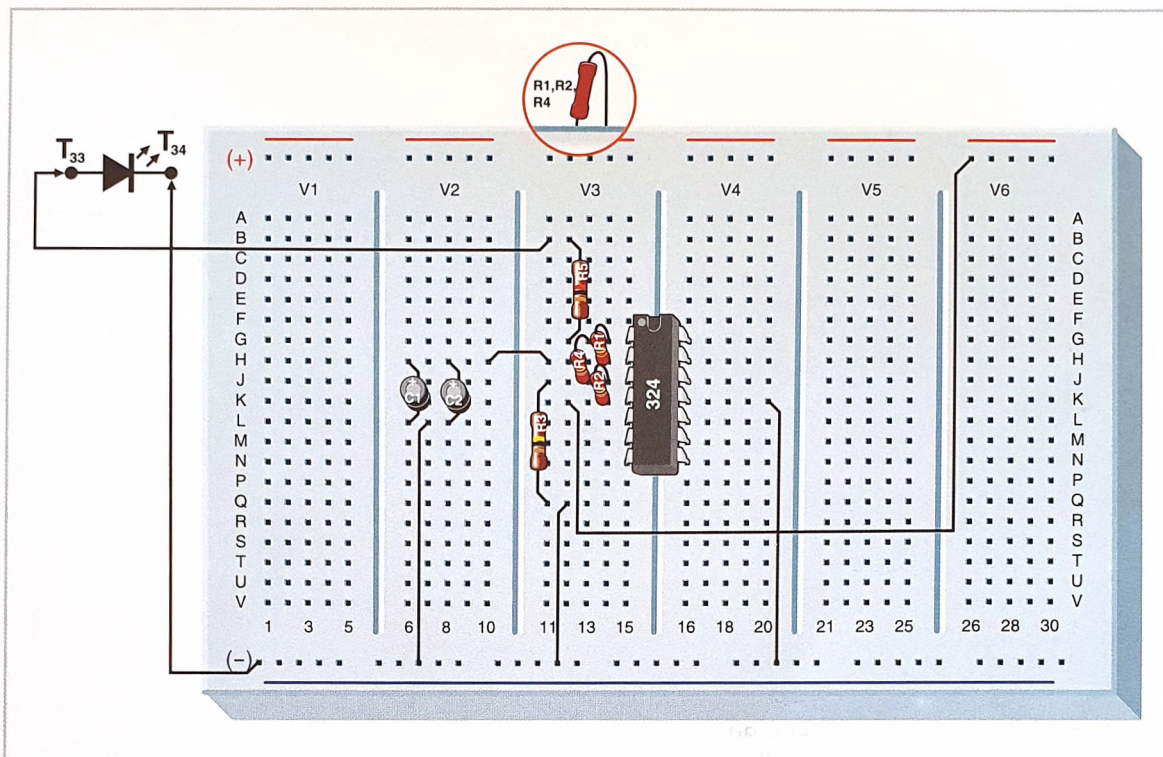
Gli oscillatori dell'esperimento devono poter funzionare immediatamente non appena viene collegata l'alimentazione. Possiamo verificarlo collegando una delle loro uscite alla base del transistor. Con il primo oscillatore si deve porre il potenziometro al minimo per ottenere una frequenza udibile. Il secondo oscillatore, con il condensatore da 22 nF non si potrà sentire, per cui potremo cambiare l'oscillatore con un altro da 2,2 nF e verificare come funzioni: la frequenza, logicamente, sarà la decima parte rispetto a quella originaria. Il terzo oscillatore, se collegato a R4, diventa udibile. Se non riusciamo ad ascoltarne nessuno, dovremo verificare tutte le connessioni del transistor e l'alimentazione del circuito integrato 4093.

L'altoparlante viene utilizzato per verificare gli oscillatori.

Sperimentiamo il circuito

Conoscendo la formula che ci dà la frequenza di uscita, si possono cambiare i componenti che formano ciascun oscillatore per verificare quali siano le frequenze udibili e quali non lo siano.

Oscillatore da 0,5 Hz

Il circuito genera un segnale a bassissima frequenza.

Il montaggio che si intende realizzare è un oscillatore astabile formato da un amplificatore operazionale. Presenta la particolarità di utilizzare un'alimentazione asimmetrica.

Principio di funzionamento

L'operazionale lavora con controreazione positiva e negativa; ciò fa sì che il condensatore si carichi e si scarichi provocando una commutazione dell'uscita tra i livelli alto e basso. La controreazione negativa viene sfruttata per caricare il condensatore, mentre quella positiva fa sì che l'operazionale si comporti come un comparatore. L'uscita, così, cambia di livello e passa al livello alto quando la tensione del terminale 3 supera la tensione del terminale 2; l'uscita passa a livello basso, invece, quando la tensione nel terminale 2 è minore. Partendo da uno stato in cui i condensatori C1 e C2 sono scarichi, nel terminale 3, rispetto al terminale 2, è presente una tensione maggiore e, quindi, l'uscita sarà ad un livello alto. Ciò fa sì che i condensatori si carichino a poco a poco fino a raggiungere con la tensione del terminale 2 quella del terminale 3. In questo preciso momento l'uscita passa a livello basso. La tensione nel terminale 3, adesso, è di 3 Volt. I condensatori si scaricano fino a raggiungere la suddetta tensione e, quando questo avverrà, l'uscita passerà a livello alto. I cicli di carica e scarica, a partire da adesso, si ripetono. Il segnale di uscita ha un periodo di tempo in cui permane a livello alto uguale a quello in cui permane a livello basso; esso viene dato dalla formula: T1 = T2 = 0,69 * R1 * Ct, dove Ct è la somma delle due capacità.

Una rete R-C determina la frequenza

Il circuito

Nel montaggio esistono due tensioni fondamentali di cui tenere conto: le massime tensioni di carica e di scarica dei condensatori. Questi livelli determinano la commutazione dell'uscita; quando si raggiungono, cioè, l'uscita cambia stato. Quando l'uscita è a livello alto (9Volt), nella resistenza R3 avremo 4,5 Volt dovuti alla suddetta tensione più altri 4,5 dovuti alla tensione presente in

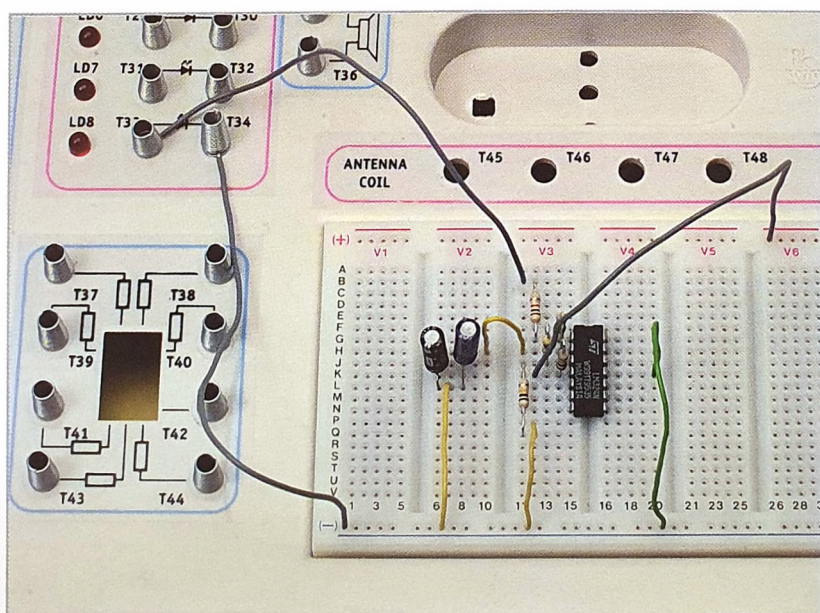
Oscillatore da 0,5 Hz

COMPONENTI	
R1,	120 K
R2, R3, R4	100 K
R5	1 K
C1	2,2 µF
C2	10 µF
U1	LM324
LD8	

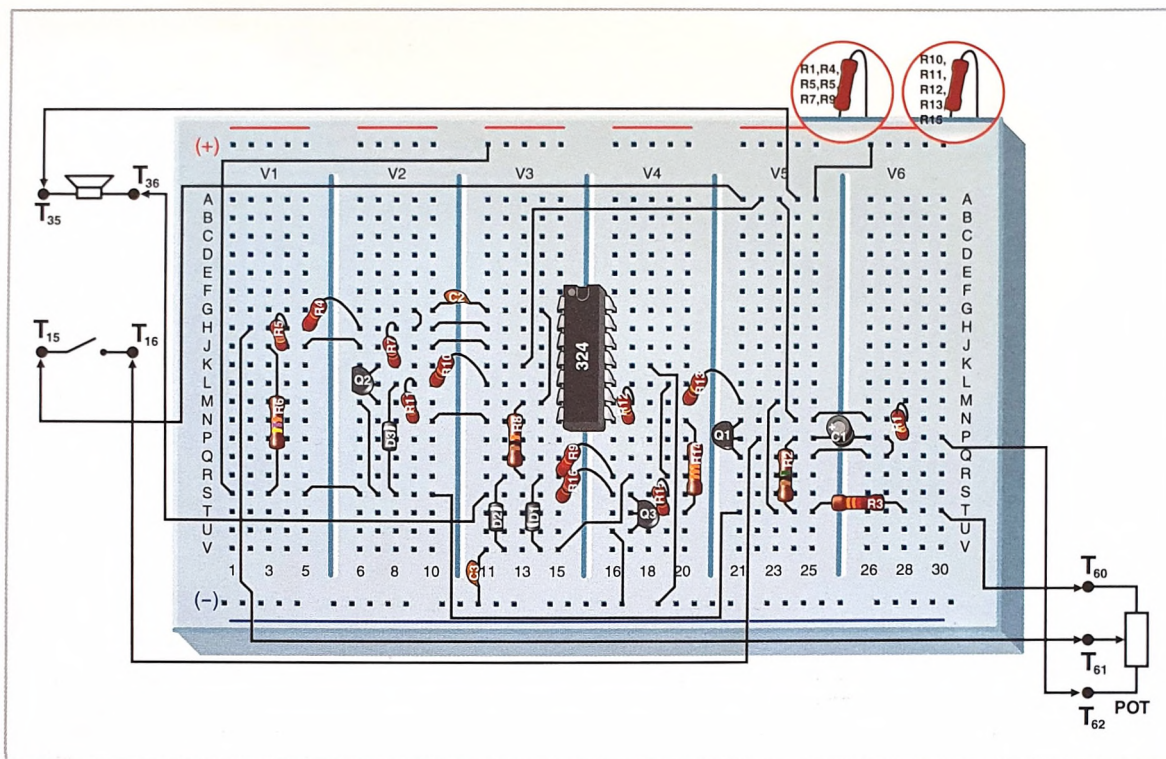
R2; avremo, quindi, 9 Volt. Osservandolo bene, ci accorgiamo che è un divisore resistivo e che in esso nella resistenza R3 si sovrappone la tensione di R2-R3 da un lato e la tensione di R3-R4 dall'altro. Questa sarebbe la tensione che il condensatore deve raggiungere nella carica.

Quando l'uscita è a livello basso, le resistenze R3 e R4 saranno in parallelo, per cui la resistenza risultante sarà da 50 K. Perciò, il divisore R2 da 100 K risulterà in serie con quello da 50 K e ne risulterà una tensione di 3 Volt, che sarebbe la tensione alla quale il condensatore, perché l'operazionale si commuti a livello alto, si deve scaricare.

Sperimentiamo il circuito

Per cambiare la frequenza di uscita dell'oscillatore si possono cambiare i condensatori C1 e C2 e la resistenza R1. Se si vuole cambiare la frequenza, si possono cambiare anche le resistenze R2, R3 e R4, perché così cambiamo i livelli di carica e scarica del condensatore. Si deve però tenere conto del fatto che i tempi possono essere abbastanza diversi da quelli calcolati teoricamente perché i valori dei condensatori elettrolitici possono fluttuare abbastanza a causa della loro tolleranza; possiamo correggerli aumentando o diminuendone la capacità oppure cambiando leggermente la resistenza R1. Possiamo anche sostituire la resistenza R1 con un'altra da 68 K posta in serie a un potenziometro da 100 K.

Astabile a bassa frequenza con operazionale.

Oscillatore con scansione

Premendo P8 l'oscillazione esplora una banda di frequenze.

Questo circuito è un oscillatore nella banda audio che oscilla a una determinata frequenza massima, regolabile con il potenziometro POT da 50K del laboratorio. Quando si preme P8, l'oscillazione praticamente scompare, mentre se lo si libera inizia a oscillare a una bassa frequenza, aumentando fino a raggiungere la frequenza massima, che abbiamo precedentemente fissato con il potenziometro.

Il circuito

Il circuito è in realtà un VCO, un oscillatore, controllato dalla tensione e formato dagli amplificatori operazionali U1A e U1B. Con il potenziometro da 50K del laboratorio regoliamo la tensione che corrisponde alla frequenza di oscillazione massima; tuttavia, quando si preme P8 per uno o due secondi, C1 si scarica, mentre se lo si libera, la frequenza di oscillazione è bassissima e aumenta a mano a mano che il condensatore si carica. Il resto del circuito modifica il segnale per farlo assomigliare a un'onda sinusoidale che U1C amplificherà; il transistor ritocca il segnale per farlo udire nell'altoparlante del laboratorio e per verificare che la frequenza stia aumentando.

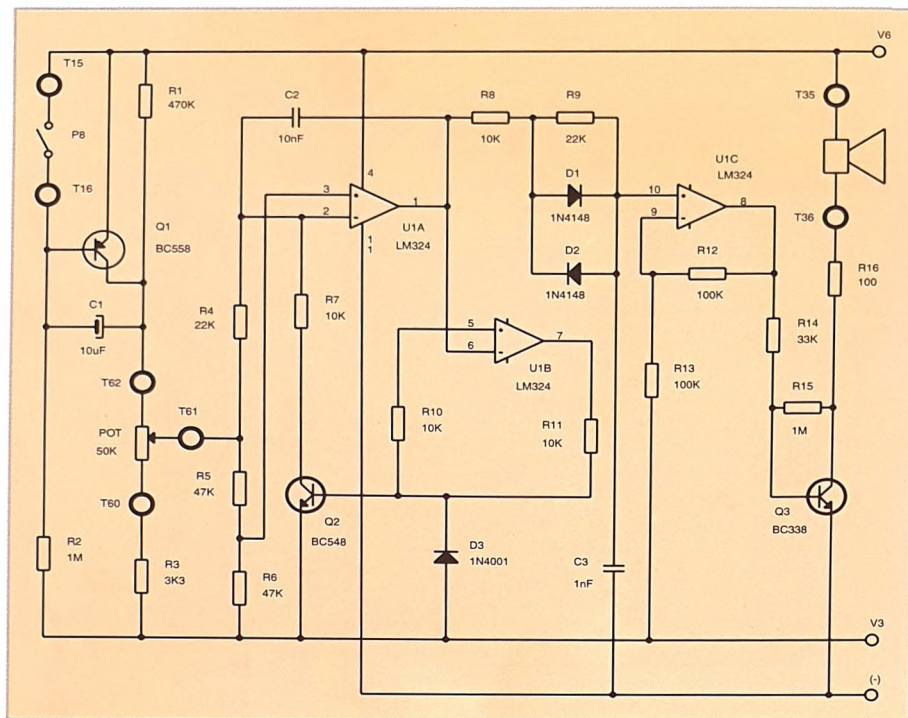
La banda è regolabile

Esperimento 1

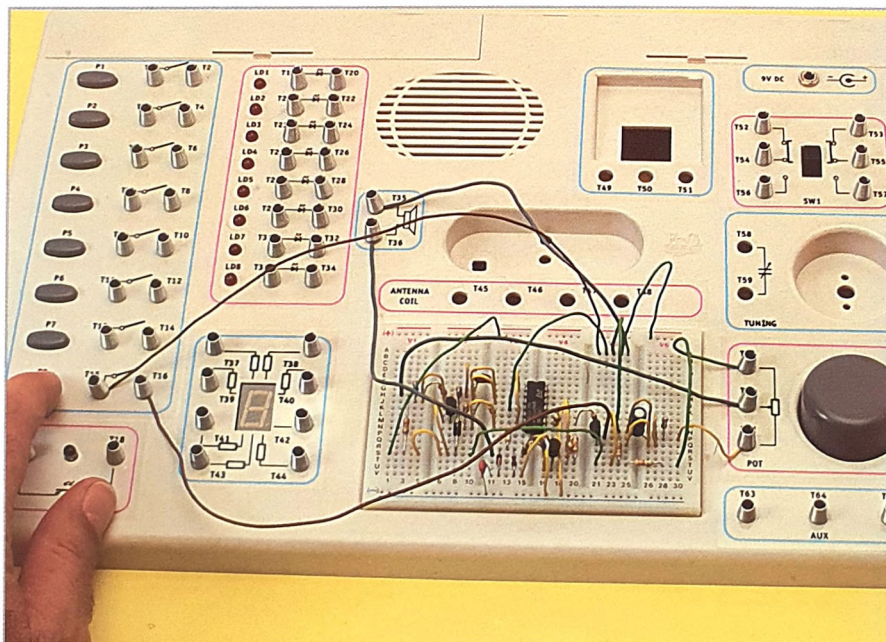
Una volta montato il circuito, si devono rivedere attentamente tutti i componenti: dobbiamo fare particolare attenzione al valore e alla collocazione di tutti gli elementi, alla polarità dei diodi, ai piedini e alla tipologia dei transistor. Quando il circuito funziona, all'altoparlante si deve poter ascoltare un suono la cui frequenza può essere regolata a volontà con il potenziometro del pannello frontale del laboratorio. In seguito, si mantiene premuto P8 e il suono diminuisce di frequenza fino a diventare appena udibile; liberando P8, invece, inizia ad aumentare di frequenza.

Esperimento 2

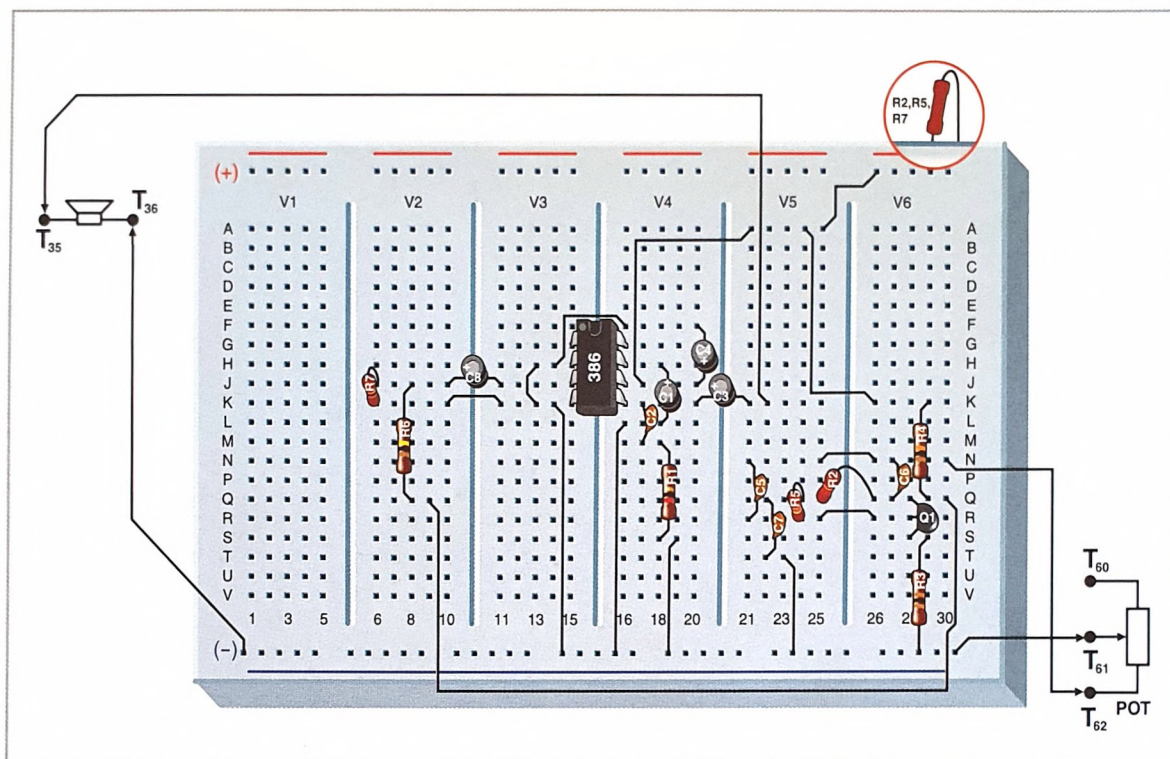
Finora, il circuito deve funzionare secondo le previsioni, ma possiamo effettuare degli

Oscillatore con scansione

COMPONENTI	
R1	470 K
R2, R15	1 M
R3	3K3
R4, R9	22 K
R5, R6	47 K
R7, R8, R10, R11	10 K
R12, R13	100 K
R14	33 K
R16	100 Ω
C1	10 µF
C2	10 nF
C3	1 nF
D2, D1	1N4148
D3	1N4001
Q1	BC558
Q2	BC548
Q3	BC338
U1	LM324
POT	
ALTOPARLANTE	

esperimenti realizzando dei cambiamenti per osservarne le conseguenze.

Possiamo ripetere l'esperimento regolando il potenziometro su differenti posizioni. Sarebbe interessante provare con valori superiori per il condensatore C1, con 22 µF e 47 µF. Se si vuole diminuire il livello del suono perché non dia fastidio durante la realizzazione dell'esperimento, possiamo aumentare il valore della resistenza R16 fino a raggiungere la riduzione desiderata. All'inizio possiamo cambiare il valore di qualunque componente del circuito – resistenze e condensatori –, ma sempre di uno in uno e con valori vicini per vedere cosa succede. Si deve tenere conto che questo circuito deve essere alimentato unicamente con delle pile e non con l'alimentazione della rete, che, lo ricordiamo, alimenta solamente i terminali V6 e (-).

Oscillatore audio a scansione quando viene premuto P8.

Oscillatore a doppia T

Oscillatore audio con amplificatore di uscita.

I circuito oscillatore è composto da un unico transistor e da sei componenti disposti a forma di doppia T; una T è formata dai condensatori C5 e C6 e dalla resistenza con cui si regola il potenziometro, mentre l'altra T dalle resistenze R5, R2 e dal condensatore C7. Questo montaggio è tipico ed è molto utilizzato in elettronica. I valori di questi componenti determinano la frequenza di oscillazione del circuito.

Il circuito

Il circuito completo è composto da diverse parti; quella corrispondente allo stadio oscillante, come abbiamo appena finito di dire, è composta da una doppia T e da un transistor. La resistenza R4 viene utilizzata per polarizzare il transistor in continua e perché quest'ultimo possa oscillare. La resistenza R6 insieme alla R7 formano un attenuatore resistivo che riduce il livello di tensione dell'uscita dello stadio amplificatore, a cui si accede attraverso il condensatore C8 da 100 µF che disaccoppia in continua lo stadio oscillante dallo stadio amplificatore. Il resto del circuito è un amplificatore audio con un collegamento all'uscita di un altoparlante per la diffusione del suono erogato. Il condensatore C4 è un filtro di alimentazione che evita che si generino rumori dovuti a interferenze interne causate dal funzionamento del circuito integrato stesso.

Oscillatore con transistor e doppia T

Regolazione

Questo circuito possiede pochi componenti ed è facile da montare: basta seguire attentamente lo schema ed effettuare le connessioni indicate.

Questo circuito, però, ha due reti sfasatrici e non sempre funziona "al primo colpo". Può succedere che, benché il montaggio sia stato portato a termine correttamente, quando colleghiamo l'alimentazione esso non funzioni.

Per mettere in funzione il circuito, ruoteremo lentamente il comando del potenziometro fino a raggiungere un'oscillazione stabile. Potremo vedere che l'oscillazione

Oscillatore a doppia T

COMPONENTI	
R1	2 Ω
R2	22 K
R3	100 Ω
R4, R7	10 K
R5	47 K
R6	100 K
C1	10 µF
C2	22 nF
C3	220 µF
C4	47 µF
C5	22 nF
C6	10 nF
C7	47 nF
C8	100 µF
U1	LM386
POT	
ALTOPARLANTE	

sarà ottenuta solamente in una zona stretta del cursore del potenziometro. Se non riuscissimo ad effettuare la regolazione, dovremo verificare che il transistor sia del tipo adeguato e che tutti i componenti siano quelli raccomandati e che, infine, siano inseriti nella posizione corretti.

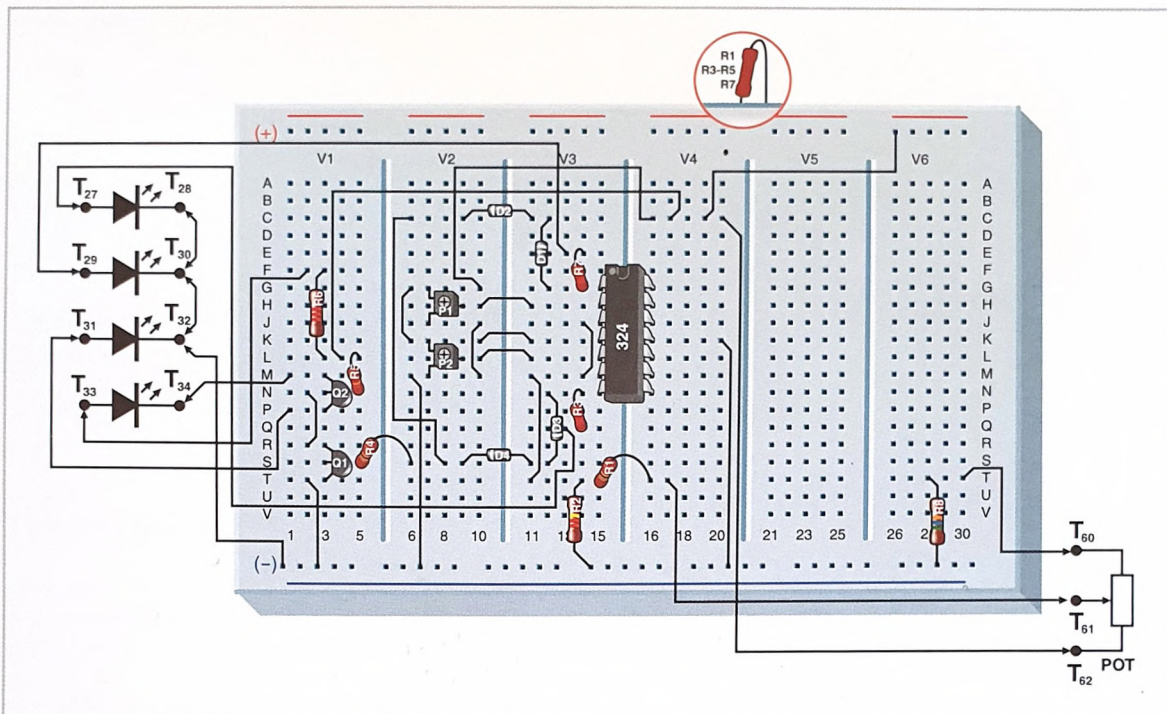
Oscillatore a doppia T con uscita amplificata.

Esperimenti

Possiamo realizzare degli esperimenti cambiando il valore delle resistenze R5, R2 e R4 con dei valori simili, ma solamente una resistenza per volta per controllare cosa succede. Dopo ogni cambiamento si dovrà regolare nuovamente il potenziometro.

Possiamo varia. leggermente anche la capacità dei condensatori; a tale scopo raccomandiamo di aggiungere in parallelo dei condensatori da 1 oppure 2,2 nF e osservare come cambi la frequenza di oscillazione, senza dimenticarci che ad ogni cambiamento dobbiamo riuscire a trovare con il potenziometro il punto ottimale di oscillazione.

Comparatore di finestra

Questo circuito indica se una tensione si mantiene entro valori corretti o se li oltrepassa per eccesso o per difetto.

A volte, è necessario che un segnale si mantenga a un livello di tensione all'interno di determinati valori. Questo circuito ci indica, per mezzo dei LED LD8 e LD7, che il segnale è all'interno del margine corretto. Il circuito ha anche un LED, LD5, che mostra se il livello è al di sotto del minimo e un altro LED, LD6, che evidenzia se supera il massimo.

La finestra

Il circuito è dotato di due comparatori, il riferimento di uno di essi segna il livello alto, mentre il riferimento del secondo segna il livello basso. La tensione corretta rimane tra i due riferimenti. Nel nostro circuito, per mezzo del potenziometro P1 selezioniamo il riferimento superiore e con il potenziometro P2 quello inferiore. Il margine tra queste due finestre di tensione è denominata "finestra".

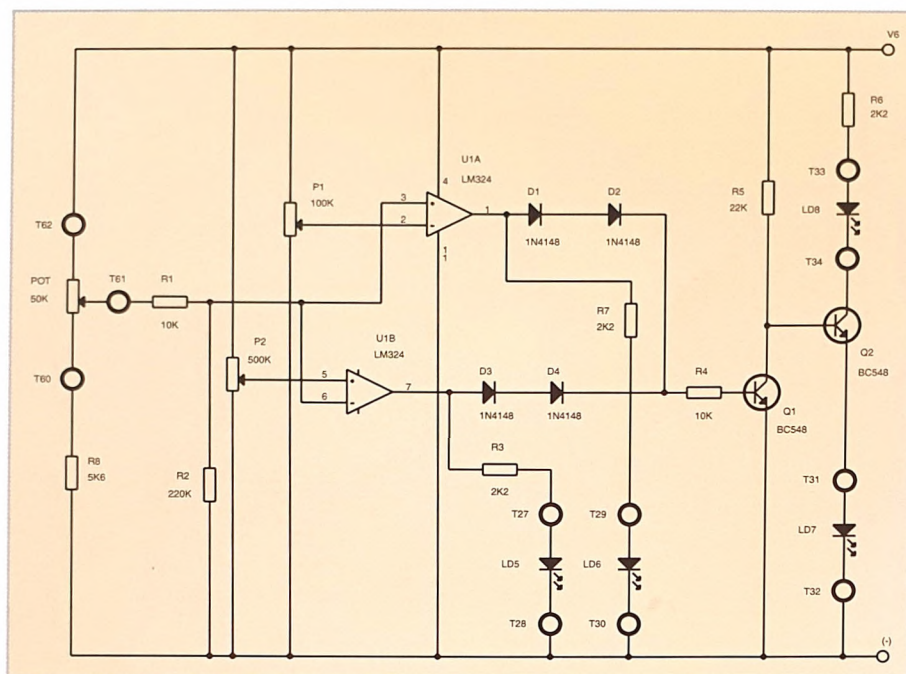
Il circuito

Il circuito possiede due comparatori e un circuito logico con dei diodi per garantire il corretto livello dell'uscita. Quando il livello dell'entrata è situato all'interno della finestra è inferiore al riferimento superiore fissato con P1 e superiore al riferimento fissato con P2. In questa situazione, l'uscita dei comparatori – terminali 1 e 7 del circuito integrato LM324 – rimane a livello basso e, quindi, i diodi LED LD5 e LD6 sono spenti. Attraverso i diodi D1, D2, D3 e D4 non circola corrente e il transistor Q1, di conseguenza, non essendo pilotato non conduce. Dato che Q1 non conduce, Q2, attraverso la resistenza fornisce la tensione di pilotaggio per i diodi LED LD8 e LD7, i quali se il livello di tensione applicato all'entrata è corretto, si illuminano. Il terminale T61 è l'entrata al circuito; il potenziometro viene utilizzato per disporre di un livello di tensione per verificare il funzionamento del circuito.

Segnala una finestra di tensione

Livello alto

Quando il segnale che arriva ai terminali 3 e 6 dei comparatori è superiore al livello di riferimento superiore – che è per l'appunto il livello di tensione applicato al terminale 2 dell'amplificatore operazionale e che è regolato da P2 –, l'uscita di U1A passa a un livello alto e, di conse-

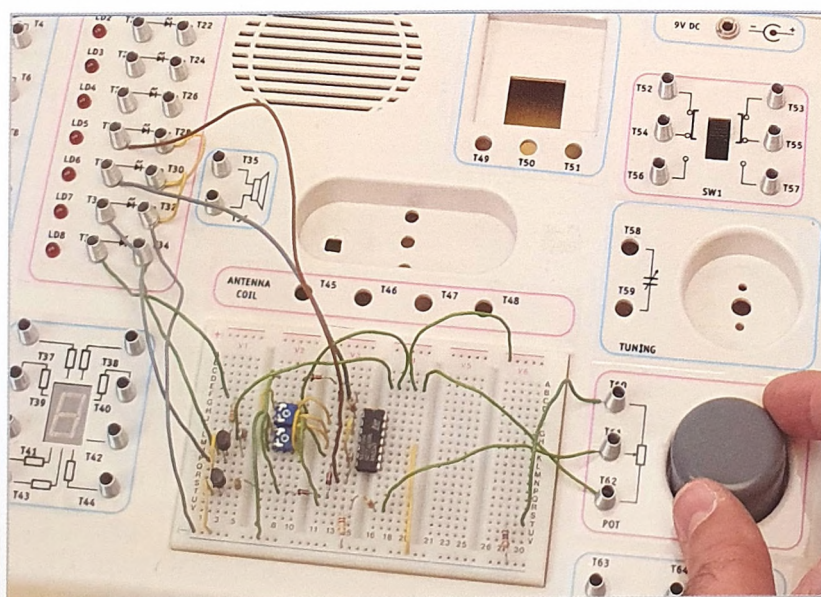
Comparatore di finestra

COMPONENTI	
R1, R4	10 K
R2	220 K
R3, R6, R7	2K2
R5	22 K
R8	5K6
D1, D2, D3, D4	1N4148
Q1, Q2	BC548
P1	100 K
P2	500 K
U1	LM324
POT	
LD5, LD6, LD7, LD8	

guenza, il LED LD6 – indicatore del livello alto – si illumina e, inoltre, mediante D1 e D2 la base di Q1 si polarizza, facendo sì che la corrente che circola nella resistenza R5, fa in modo che Q2 non sia polarizzato; quest'ultima cessa di condurre e gli indicatori del livello corretto si spengono.

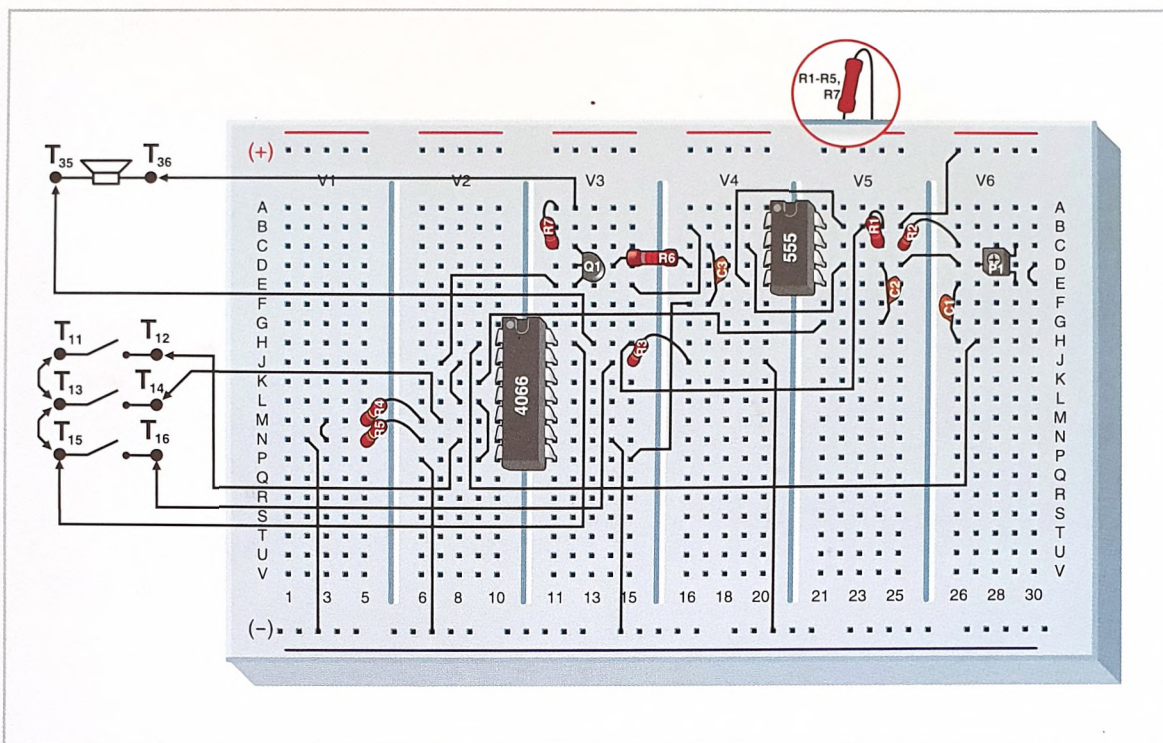
Livello basso

Come nel caso precedente, quando il segnale che arriva ai terminali 3 e 6 dei comparatori è inferiore al livello di riferimento inferiore (che è il livello di tensione applicata al terminale 5 dell'amplificatore operazionale e che viene regolata da P2), l'uscita di U1B passa a livello alto e il LED LD7 (indicatore del livello basso) si illumina e mediante D3 e D4, la base di Q1 si polarizza e, come nel precedente caso, blocca la conduzione di Q2; ne consegue che gli indicatori di livello corretto LD8 e LD7 si spengono.

Messa in funzione

Le resistenze R1 e R2 formano un divisore di tensione che adatta il livello d'entrata alla finestra di tensione regolata mediante P1 e P2; così, possiamo misurare finestre di tensione superiori alla tensione di alimentazione. In ogni applicazione reale, si cambieranno i valori di queste resistenze, oltre al valore del potenziometro, utilizzato solamente per verificare il funzionamento del circuito.

I pulsanti P8, ON, e P7, OFF, attivano e disattivano il segnale audio.

Moltiplicatore a frequenza manuale

Ha tre margini di frequenza di uscita: x1, x10 e x100.

Il circuito in sé è un generatore a onda quadra con tre valori di frequenza. I valori vengono selezionati manualmente per mezzo dei pulsanti P6, P7 e P8; il margine di frequenza all'interno dì uno stesso valore si stabilisce mediante il potenziometro POT.

Il circuito

Il circuito è formato da un oscillatore astabile montato intorno a un 555. Il circuito ha una frequenza che possiamo variare mediante il potenziometro POT. La selezione della scala si porta a termine attraverso i pulsanti, dato che ogni volta c'è soltanto un pulsante azionato; avremo, quindi, tre scale diverse. Ogni pulsante aziona direttamente un interruttore elettronico, di modo che l'oscillatore assume come capacità di carica il condensatore ad esso associato. L'uscita dell'oscillatore viene applicata alla base di un transistor, montato come emettitore comune con l'altoparlante nel suo collettore mediante la resistenza di base R6.

L'interruttore cambia il condensatore dell'oscillatore

Funzionamento

Se lasciamo il circuito in stato di riposo, non funziona perché tutti i suoi interruttori elettronici sono aperti, per cui l'oscillatore non ha nessun connettore collegato. Premendo P8, si attiva la porta U2A e il condensatore C1 si collega all'oscillatore.

Posto che le capacità C1, C2 e C3 hanno un fattore x10, uno rispetto all'altro, dipendendo dal condensatore attivo, si otterranno le tre scale del generatore, che avranno un fattore di incremento di 10. Una volta selezionata una delle scale, con il potenziometro potremo cambiare la frequenza, che potremo udire direttamente in una variazione del suono emesso dall'altoparlante.

Frequenze

Dato che si tratta di un 555, l'equazione della frequenza di uscita sarà di:

$f = 1{,}45/((R1 + 2\,(R2 + POT))\,Cx)$

perciò la frequenza di uscita cambierà in maniera inversamente proporzionale alla capacità Cx, che sarà, a seconda del caso, C1, C2 o C3. La massima – e minima – frequenza ottenibile in ciascun rango

Moltiplicatore a frequenza manuale

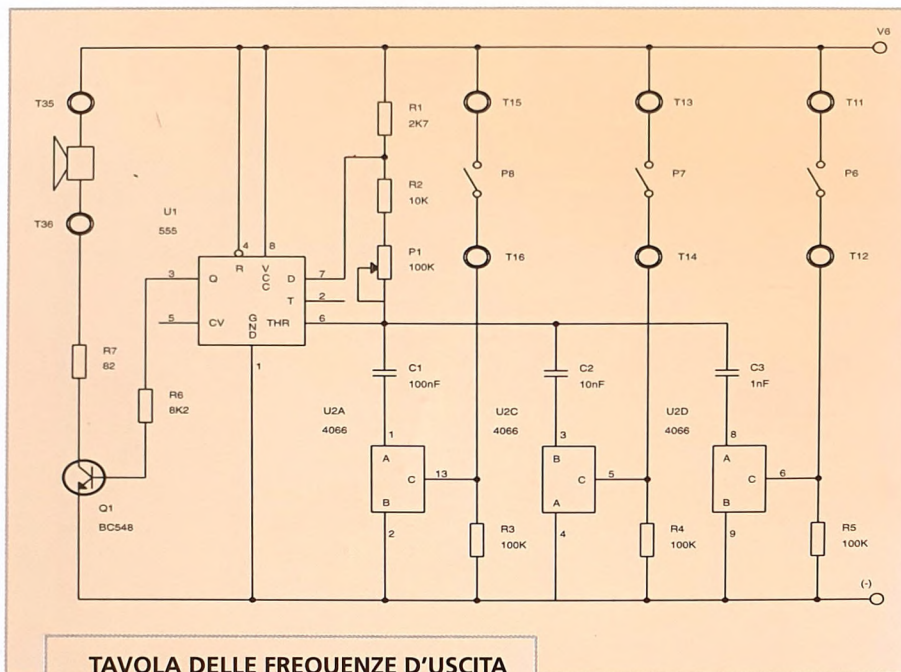



TAVOLA DELLE FREQUENZE D'USCITA			
Frequenza	C1	C2	C3
Massimo	5 KHz	50,5 KHz	505 KHz
Minimo	120 Hz	1,2 KHz	12 KHz

viene mostrata nella tabella allegata e sono il risultato della sostituzione di valori dei componenti nell'equazione nel caso in cui POT = 0 = > frequenza massima e POT = 50 K = > frequenza minima.

Va azionato solamente un pulsante per volta.

COMPONENTI	
R1	2K7
R2	10 K
R3 a R5	100 K
R6	8K2
R7	82 Ω
C1	100 nF
C2	10 nF
C3	1 nF
Q1	BC548
U1	555
U2	4066
ALTOPARLANTE	
P6 a P8	
POT	

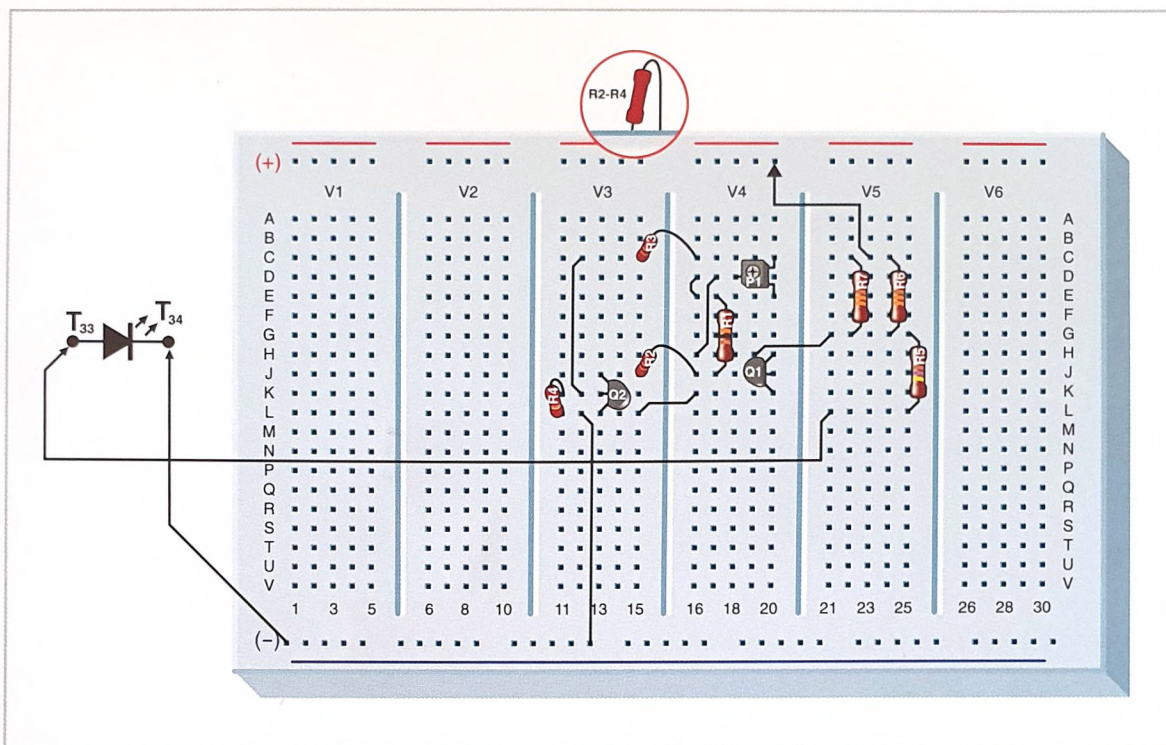
Messa in funzione

Il circuito, con tutte le connessioni controllate, deve funzionare perfettamente. Non dobbiamo dimenticare di collegare l'alimentazione del 4066 ai terminali 7, negativo, e 14, positivo dell'alimentazione. Come sempre, dovremo fare particolarmente attenzione a quei componenti dotati di terminali differenti; in questo caso abbiamo solamente il transistor Q1.

Esperimenti

I cambiamenti che possiamo apportare a questo montaggio sono parecchi. Possiamo diminuire il valore della resistenza di polarizzazione della base di un transistor. Raggiungeremo, così, un aumento della potenza sonora dell'altoparlante. Possiamo anche cambiare le frequenze dell'oscillatore. A questo scopo, visto che conosciamo la formula, possiamo cambiare uno qualsiasi dei componenti che ne fanno parte. Anche se si esce dai valori stabiliti, si possono premere diversi pulsanti in una volta e, disponendo vari condensatori in parallelo, la frequenza cambierebbe di poco. Il cambiamento non si noterà troppo, perché i valori non sono poi molto diversi.

Zener regolabile

Funziona come un diodo zener con una tensione compresa tra 3 e 25 Volt.

Un diodo zener, polarizzandosi inversamente, mantiene una tensione quasi costante, quando attraverso di esso circola una corrente variabile all'interno di un determinato margine. Esistono diodi zener con tensioni molto diverse e non sempre li abbiamo a portata di mano quando ci servono. Questo esperimento spiega come costruire un circuito che simula il funzionamento di qualunque zener compreso tra 3 e 25 Volt. La parte dello schema corrispondente al LED è quella compresa tra i punti contrassegnati come A e K; le resistenze R6 e R7 limitano la corrente che circola nello "zener" e il LED LD8, con la sua resistenza R5, viene utilizzato per verificare il funzionamento del circuito senza l'ausilio di strumenti.

Funzionamento

Il circuito, in pratica, è un generatore di corrente variabile che varia a seconda della tensione d'entrata. Osserviamo il circuito: è il tipico circuito di polarizzazione di un diodo zener. Le resistenze R6 e R7 polarizzano lo zener e, a loro volta, compensano le variazioni di tensione che si producono all'entrata. Per assorbire queste variazioni, il circuito deve simulare l'azione del diodo zener e aumentare o diminuire la corrente circolante, di modo che, in funzione della tensione d'entrata, cada più o meno tensione. La tensione d'entrata deve essere un poco maggiore rispetto a quella che si vuole stabilizzare. Inoltre, nei calcoli della resistenza di polarizzazione, dobbiamo tenere conto della corrente che il carico può assorbire, altrimenti il circuito non funzionerà.

È uno zener "su misura" da 500 mW

Il circuito

Un requisito fondamentale per cui il circuito funzioni è che la base dell'emettitore del transistor Q1 sia polarizzata. A tale scopo, è necessario che la tensione sia maggiore di 0,6 Volt. In questo stato, infatti, il transistor Q1 conduce e, di conseguenza, attraverso il collettore di Q1 circola corrente; agli estremi della resistenza R3 che polarizza il transistor Q2 – che mantiene la tensione tra il suo collettore e il suo emettitore costante, come fa uno zener – si verifica una caduta di tensione. La tensione a cui il

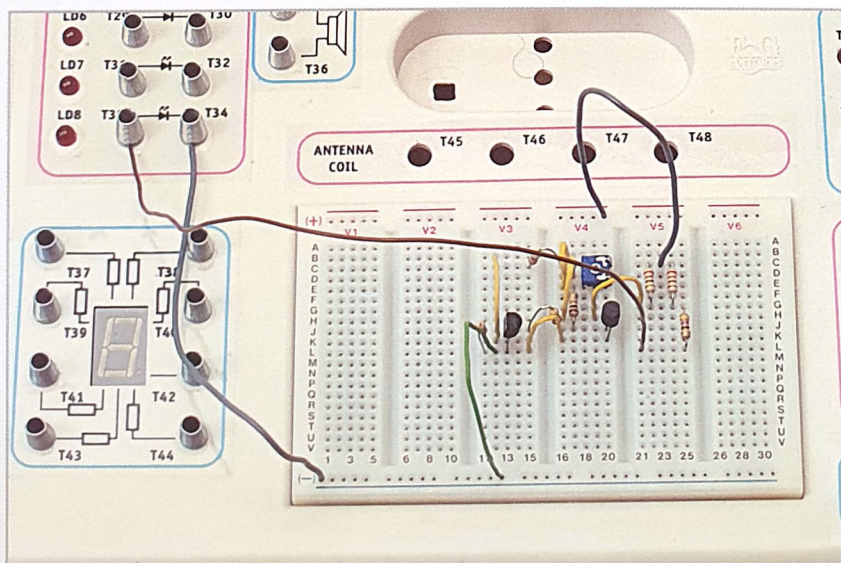
Zener regolabile

COMPONENTI	
R1, R2, R3	10 K
R4	4K7
R5	470 Ω
R6, R7	330 Ω
P1	500 K
Q1	BC548
Q2	BC558
LD8	

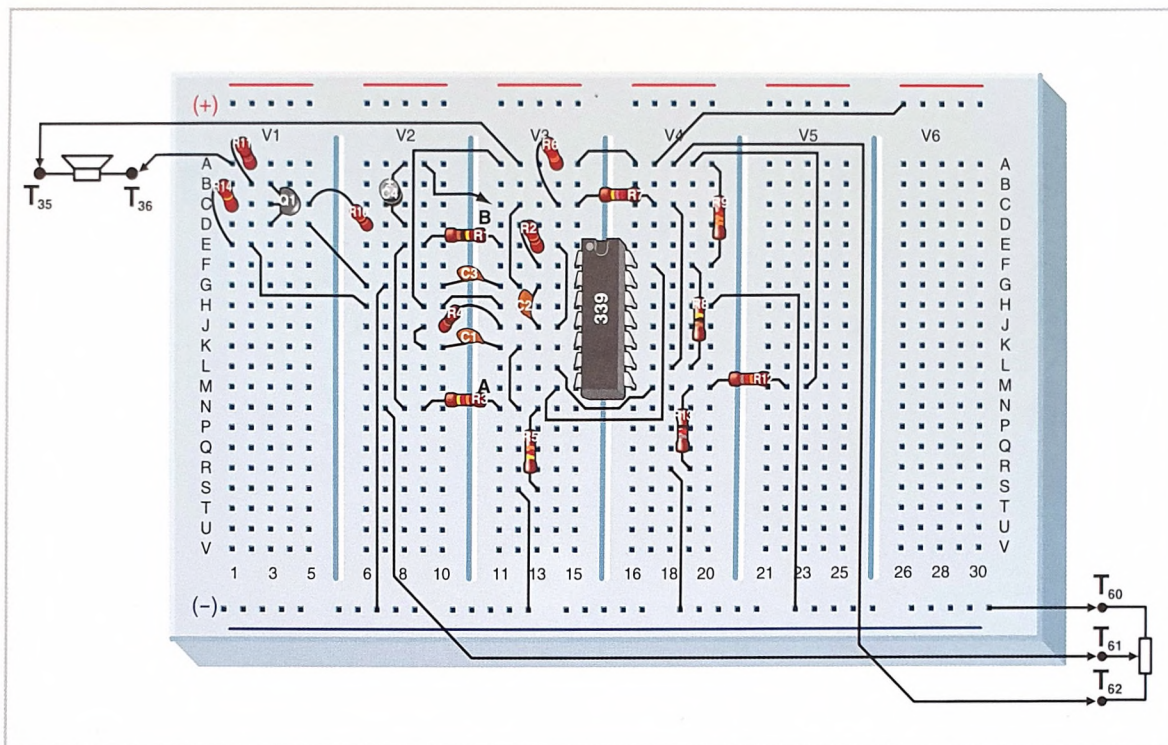
circuito stabilizza l'uscita viene stabilita con la relazione del divisore P1/R1 e R2. Il circuito ha un'impedenza d'entrata maggiore rispetto a quella di un diodo zener normale, tra 20 e 50Ω; il suo margine di lavoro può raggiungere anche i 25 Volt d'entrata.

I terminali A e K sono, rispettivamente, l'anodo e il catodo di un diodo zener e, come questi diodi, per funzionare devono essere inversamente polarizzati: l'anodo al negativo e il catodo al positivo.

Messa in funzione

Con P1 regoliamo la tensione di uscita del circuito. In teoria, possiamo regolarlo tra i 3 e i 25 Volt. Supponiamo di regolarlo a 3 Volt; l'entrata può essere collegata, successivamente, a V2, V3, V4, V5 e V6. Otterremo una tensione di uscita praticamente costante, anche se all'entrata vengono applicate tensioni diverse. La tensione d'entrata deve essere superiore a quella di regolazione per far sì che il circuito si comporti come uno zener. In teoria, dal punto A al punto K, può condurre fino a 100 mA. Se non avessimo alimentazione, utilizzeremo il diodo LED per verificarne il funzionamento.

Zener regolabile.

Generatore a due uscite

Tre comparatori lavorano in maniera diversa per ottenere un'onda quadra e un'altra a dente di sega.

In questo circuito, a partire da tre comparatori montati uno come integratore e gli altri due come comparatori puri di tensione, possiamo ottenere l'uscita del segnale a dente di sega oppure quadra.

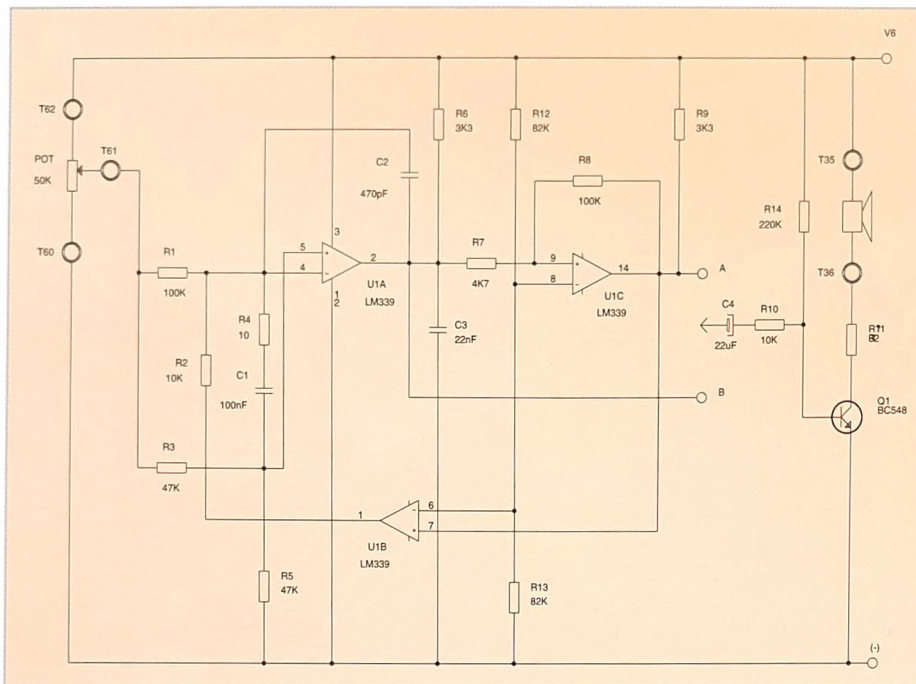
Funzionamento

Il montaggio più interessante e su cui si basa questo montaggio è quello realizzato intorno al comparatore U1A. Questo circuito è conosciuto come integratore. Si tratta di un amplificatore con controreazione negativa in cui è stata cambiata la resistenza di controreazione, posta tra l'uscita e il terminale (-), con un condensatore. Quest'ultimo si carica a partire dalla corrente che circola attraverso di esso e che viene stabilita dalle resistenze esistenti nei terminali d'entrata. Trattandosi di una tensione fissa, la carica del condensatore è costante, per cui la tensione di uscita è rappresentabile come una rampa. Se la tensione d'entrata è positiva, la tensione di uscita sarà una rampa decrescente, mentre se la tensione d'entrata è negativa, la tensione d'uscita è una rampa crescente. Ricordiamo che la controreazione è negativa e la tensione di uscita si inverte rispetto all'entrata. Pertanto, se a questo montaggio si aggiunge un circuito che cambia automaticamente la polarità (tensione positiva e negativa di alimentazione) si sarà realizzato un generatore di onda triangolare (uscita B). Il raggiungimento del segnale di onda quadra (terminale A) si ottiene applicando all'entrata di un comparatore con isteresi di un'onda triangolare. Così, sia il segnale di onda quadra che quello triangolare avranno la medesima frequenza. L'uscita del comparatore con isteresi va applicata a un comparatore. Con questo montaggio completo, se l'uscita di U1B è a livello basso, il segnale triangolare cresce arrivando ad un livello di tensione che si definisce con l'isteresi di U1C, l'uscita di U1C cambia e U1B passa a livello alto, per cui il segnale triangolare dell'uscita B decresce.

Con un altoparlante verificheremo l'uscita

Il circuito

Con il potenziometro POT viene fissata una tensione che, a seconda del suo valore, produrrà una corrente maggiore o minore per mezzo del conden-

Generatore a due uscite

COMPONENTI	
R1, R8	100 K
R2, R10	10 K
R3, R5	47 K
R4	10 Ω
R6, R9	3K3
R7	4K7
R11	82 Ω
R12, R13	82 K
R14	220 K
C1	100 nF
C2	470 pF
C3	22 nF
Q1	BC548
U1	LM339
ALTOPARLANTE	
POT	

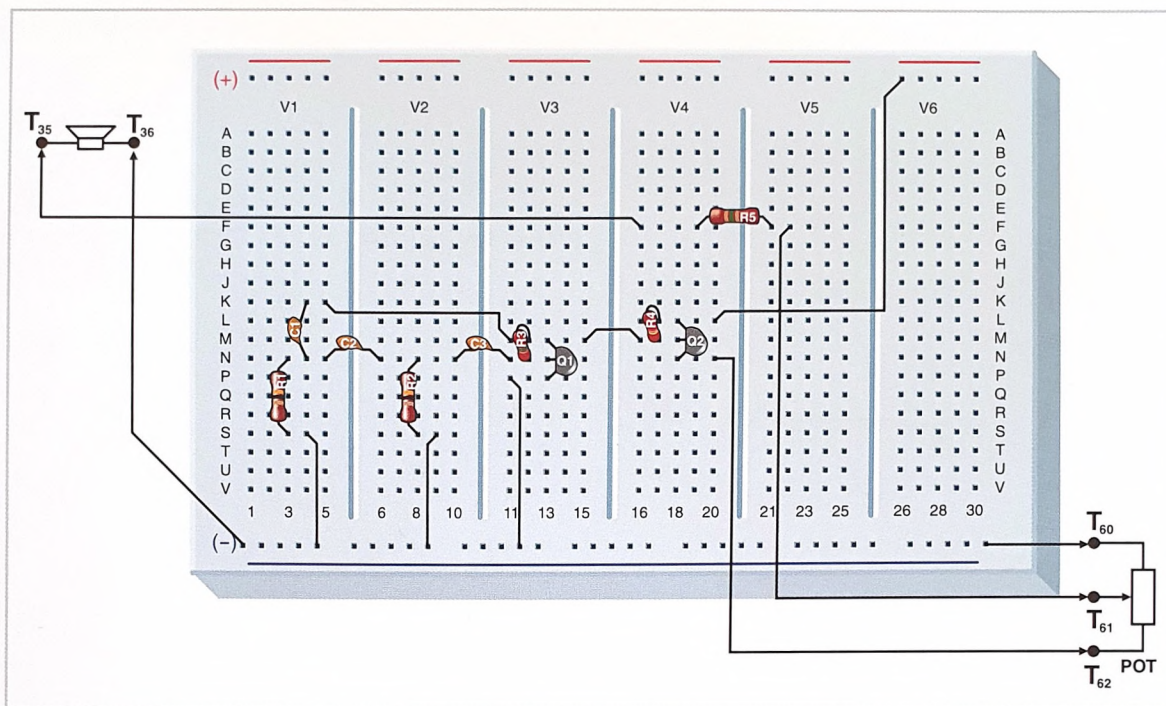
satore C1. Ciò farà sì che si carichi più o meno rapidamente, per cui la frequenza dell'onda triangolare di uscita sarà direttamente proporzionale alla suddetta tensione. L'onda triangolare si applica al comparatore con isteresi. Questo ha la finestra di paragone spostata dallo zero mediante le resistenze R6 e R7. Il limite della tensione superiore della finestra viene fissato a V6/2 per mezzo di R12 e R13, nel terminale 8 di U1C. L'uscita di questo comparatore, terminale A, sarà il punto da cui otterremo il segnale quadrato del nostro circuito. Questo segnale verrà applicato all'altro comparatore a cui inseriremo la resistenza del collettore R2, nel terminale 4 del comparatore. Così, quando l'uscita del comparatore è a basso livello, la corrente di carica del condensatore C2 cambia di senso, per cui la tensione di uscita del comparatore cresce.

La tensione nel terminale centrale del POT controllerà la frequenza dei segnali dell'uscita nei punti A e B.

Messa in funzione

Il circuito funziona direttamente semplicemente connettendolo all'alimentazione, perché l'oscillatore funzionerà immediatamente. Se varieremo la tensione, per mezzo del potenziometro POT, vedremo come cambia il suono dell'altoparlante perché è collegato in A oppure in B.

Oscillatore RC con uscita diretta

Oscillatore sinusoidale RC a due transistor.

La caratteristica principale di questo circuito è quella di aggiungere uno stadio di uscita al collettore comune; quest'ultimo agisce come separatore ed evita che il carico collegato all'uscita influenzi il funzionamento dell'oscillatore. Di conseguenza, ne consente l'utilizzo come generatore e permette anche di poterlo attaccare direttamente a diversi circuiti. In questo caso, l'uscita potrà essere presa tra i terminali T61 e T60: quest'ultimo corrisponde alla massa.

Il circuito

Osservando lo schema del circuito, potremmo avere l'impressione che sia un circuito che già conosciamo.

Il primo stadio ha come elemento attivo un transistor, Q1, e una rete sfasatrice, RC. È una configurazione molto tipica: R3 è la resistenza di polarizzazione di R2 e R4 è quella del collettore; la differenza sta nel fatto che l'uscita di questo stadio, che avviene per mezzo del collettore, non porta direttamente all'uscita, ma alla base del transistor Q2, montato in configurazione collettore comune come secondo stadio. Se torniamo al primo stadio, troviamo una tipica rete sfasatrice con tre condensatori – C1, C2, C3 – e tre resistenze – R1, R2 e un'altra resistenza che non figura nello schema perché è l'impedenza d'entrata del transistor Q1. Aggiungiamo che quest'ultima resistenza si chiama "hie".

Funzionamento

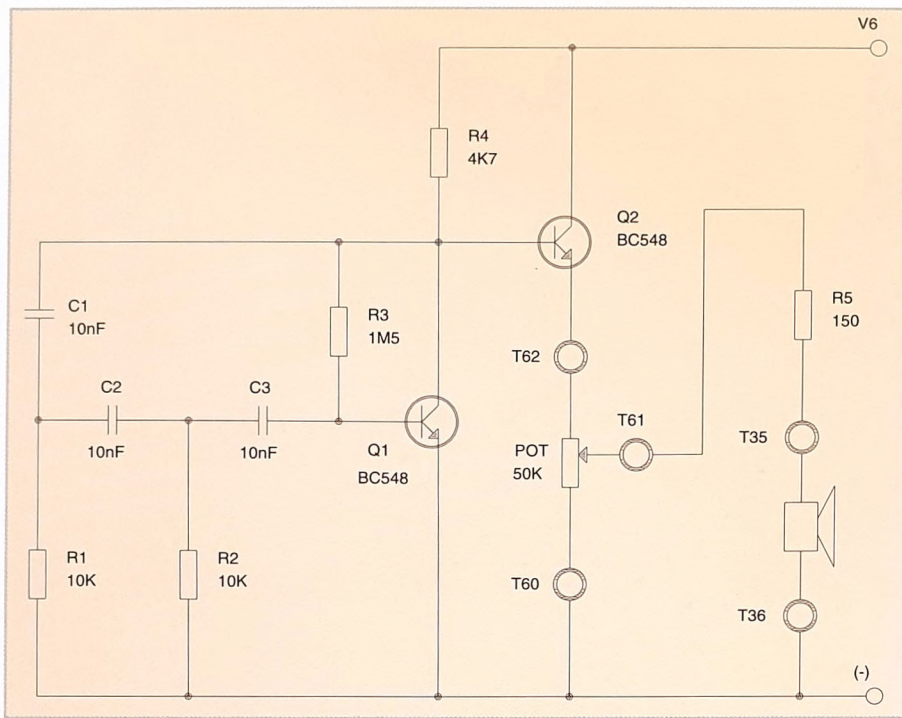
Questo amplificatore inizia a funzionare grazie alle interferenze captate oppure al rumore interno. Il segnale di uscita del primo stadio - stadio oscillatore – viene preso nel collettore e si controreaziona per mezzo del condensatore C1, attraversando la rete sfasatrice di 180° e torna amplificato all'uscita con la stessa fase, questo perché il transistor è in configurazione di emettitore comune e sfasa di altri 180°.

L'uscita del circuito viene presa tra i terminali T61 e T60. La resistenza R5 e l'altoparlante si utilizzano per poter verificare a orecchio che il generatore stia funzionando, ma dobbiamo ricordare che non è il normale utilizzo del circuito.

Uscita a bassa impedenza

Esperimento 1

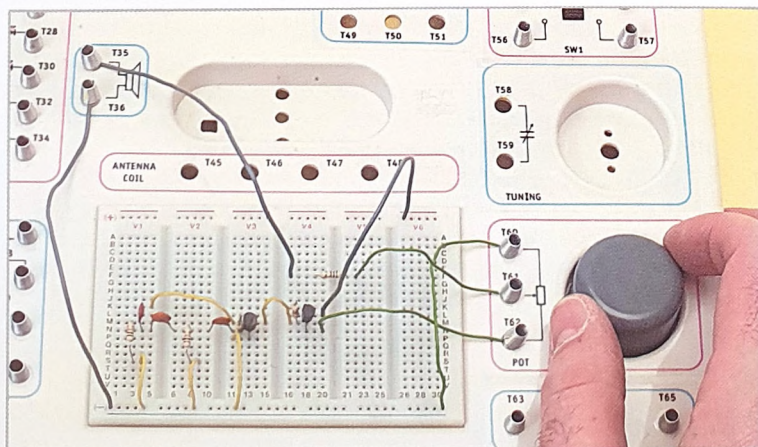
Possiamo cambiare la frequenza di uscita sostituendo i condensatori C1, C2 e C3 con altri di ca-

Oscillatore RC con uscita diretta

COMPONENTI	
R1, R2	10 K
R3	1M5
R4	4K7
R5	150 Ω
C1, C2, C3	10 nF
Q1, Q2	BC548
POT	
ALTOPARLANTE	

pacità maggiore, per abbassarne la frequenza – oppure di minor capacità – per aumentarla. Possiamo agire anche sulle resistenze R1 e R2 provando con diversi valori; raccomandiamo, però, di non scendere sotto i 4K7, altrimenti il circuito non potrebbe funzionare correttamente.

Esperimento 2

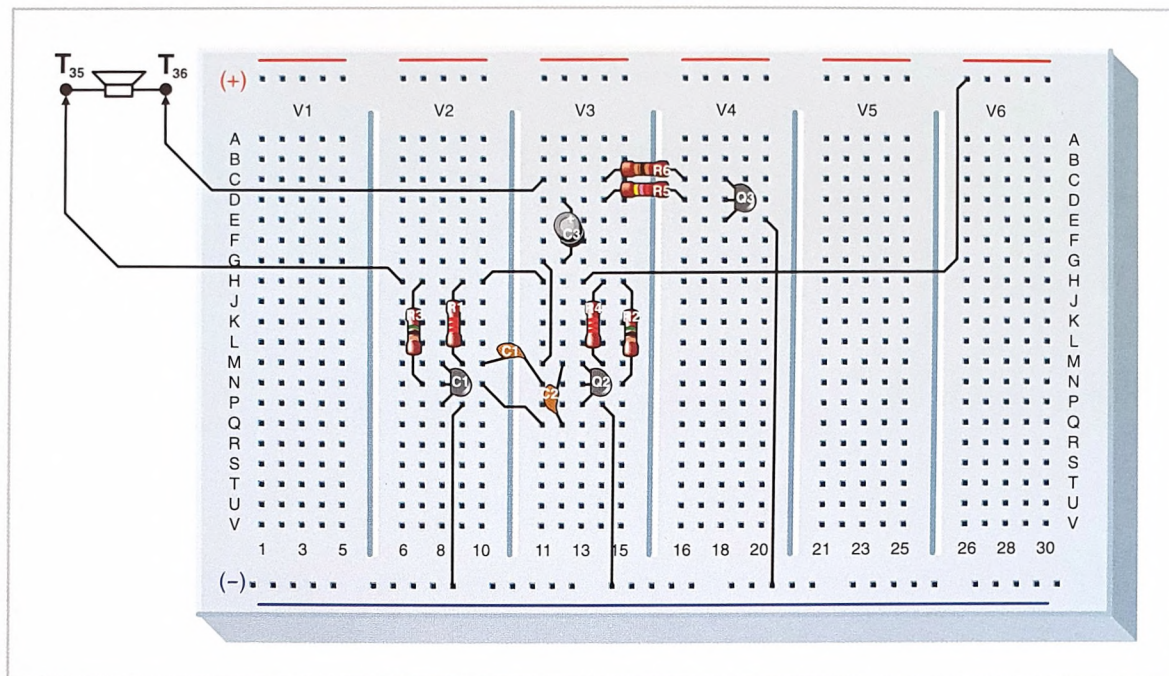
L'utilizzo migliore del circuito è la verifica degli amplificatori audio. In questo caso conviene disaccoppiare il segnale di uscita; se questo non fosse possibile, si può facilmente creare un'uscita disaccoppiata, inserendo un condensatore elettrolitico in serie all'uscita, con il positivo collegato a T61 e prendendo l'uscita sul negativo del condensatore stesso.

Raccomandiamo di realizzare questa connessione con un cavo schermato, collegando la calza al terminale di molla T60 e il conduttore interno al negativo del condensatore elettrolitico di disaccoppiamento; la capacità di questo condensatore dovrà essere circa 47µF.

Oscillatore RC con uscita in emettitore comune.

Esperimento 3

La connessione alle apparecchiature audio si attua tramite i loro ingressi LINE IN o AUX IN. Durante la connessione, sia il comando del generatore POT, che del volume, dovranno essere al minimo. Il livello di uscita del generatore è altissimo e quindi, con il POT, ne dovremo regolare il volume al minimo, per evitare che l'amplificatore provochi delle distorsioni.

Astabile con tre transistor

Semplice generatore di suono.

Questo esperimento è semplicissimo, oltre che veloce da montare; lo si raccomanda, quindi, soprattutto agli impazienti e a chi ha poco tempo a disposizione per fare degli esperimenti. La prima parte del circuito è costituita da un oscillatore astabile completamente simmetrico; l'uscita è un'onda quadrata e la sua frequenza dipende dai valori che abbiamo scelto per i componenti R2, R3, C1 e C2. Il circuito funziona con qualunque tensione compresa tra 5 e 9 Volt, ma può funzionare anche con valori minori. L'uscita viene presa dal collettore di uno dei due transistor e viene portata a un altro transistor, il quale pilota un altoparlante così da rendere udibile il suono, e verificare che il circuito stia oscillando.

Il circuito

Il circuito è uno schema classico impiegato per costruire astabili con transistor, a dimostrazione che non è sempre necessario utilizzare un circuito integrato specializzato. La frequenza del circuito, può essere aumentata utilizzando dei valori minori per le resistenze R2 e R3, e anche per i condensatori C1 e C2. Per far sì che l'onda sia simmetrica devono necessariamente essere uguali a due a due. Anche i transistor devono essere uguali. Questo tipo di oscillatore ha il vantaggio di avere un funzionamento molto sicuro e inizia a oscillare con molta facilità.

Classico astabile con transistor

Messa in funzione

Il circuito ha pochi componenti esterni e deve funzionare dal momento in cui viene collegato all'alimentazione. L'unica difficoltà sta nella scelta dei transistor e nella loro collocazione sulla piastra principale del laboratorio in maniera tale che vengano inseriti nel posto adeguato. Se la frequenza è bassissima, nell'altoparlante non potremo ascoltare nessun suono; la stessa cosa succederebbe anche se fosse troppo alta, perché l'orecchio non sarebbe in grado di ascoltarla.

Esperimento 1

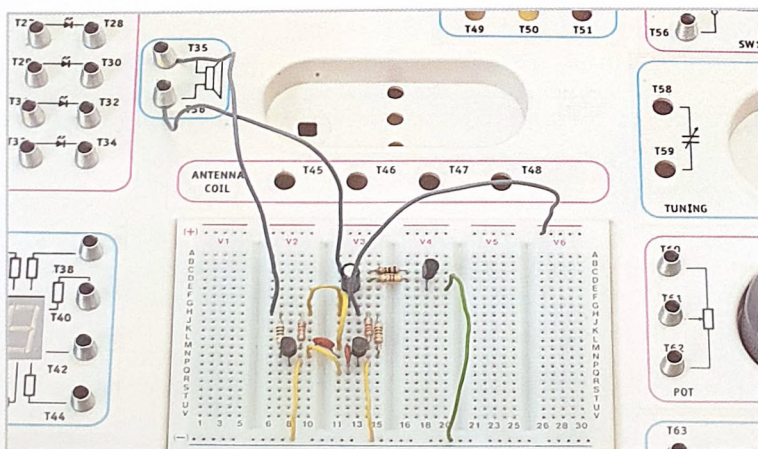
Se si osserva il circuito, vediamo che il condensatore C3 disaccoppia la componente continua e la base del transistor Q3 riceve solamente degli impulsi. Potremmo migliorare il circuito aggiungendo una resistenza di polarizzazione alla base del transistor Q3; possiamo farlo inserendo una resistenza da 1M tra la base e il collettore di Q3.

Astabile con tre transistor

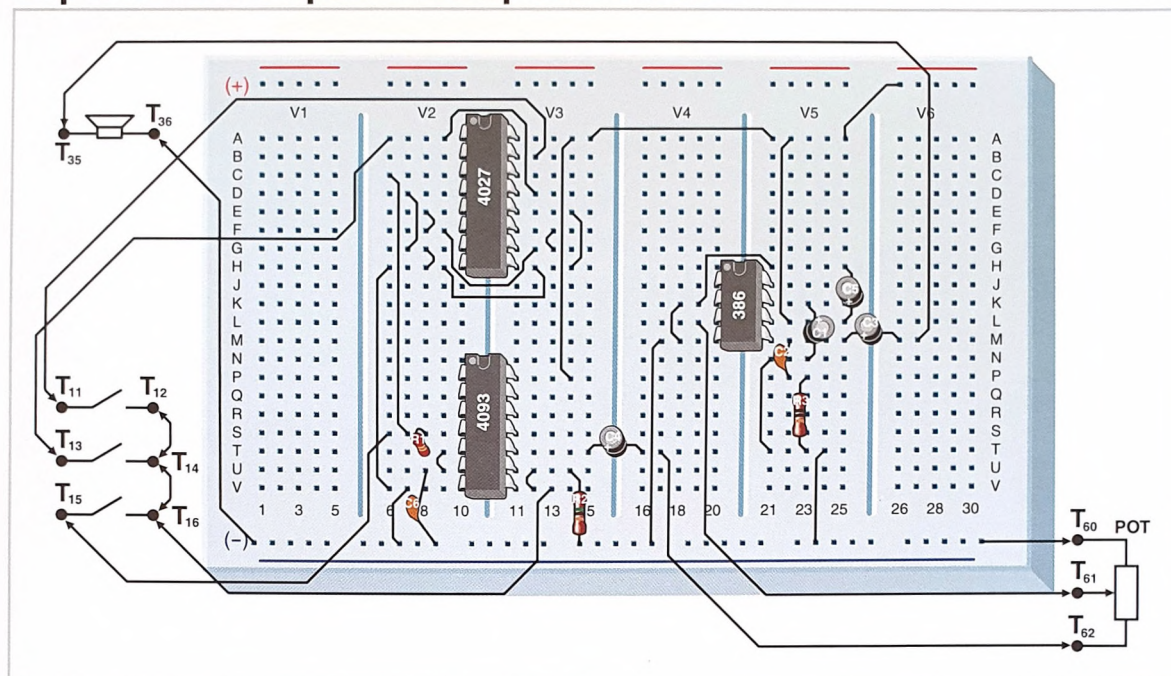
COMPONENTI	
R1,R4	2K2
R2,R3	1M
R5	4K7
R6	100 Ω
C1,C2	2,2 nF
C3	22 µF
Q1,Q2	BC548
Q3	BC338
ALTOPARLANTE	

Per alcune frequenze, non noteremo alcun cambiamento nel suono.

Esperimento 2

Una volta che il circuito è in funzione, si raccomanda di effettuare degli esperimenti. Tanto per cominciare, cambieremo le resistenze R2 e R3 con altre resistenze di diverso valore, per esempio da 820 K e da 680 K, ma potremmo utilizzare anche degli altri valori e vedere i cambiamenti che si producono. Possiamo sostituire anche i condensatori C1 e C2, ma si dovranno usare valori vicini e diminuirli o aumentarli a poco a poco, perché questo oscillatore può funzionare in un'ampia gamma di frequenze, e se salissimo troppo nella banda audio, non potremmo più verificarne il funzionamento. L'orecchio umano è in grado di captare suoni tra 20 Hz e 20 kHz; vicino a questi valori estremi, l'ascolto può calare un po'. Le basse frequenze, inoltre, sono difficili da riprodurre con dei piccoli altoparlanti. In realtà, la banda audio vera e propria si riduce dai 100 Hz ai 15 kHz. Se si dispone di un amplificatore audio, possiamo prendere il segnale tra il condensatore C3 e la resistenza R5 per mezzo del cavo interno; la schermatura del cavo andrà collegata a (-). Dovremo realizzare la suddetta connessione con un cavo schermato, a meno che non si utilizzi l'amplificatore LM386, che possiamo copiare dagli esperimenti precedenti e montare sulla stessa piastra. Se si utilizza un'apparecchiatura esterna, si deve iniziare ad un volume bassissimo.

Astabile con transistor per effettuare gli esperimenti audio.

Generatore a tre ottave

Viene generato un suono di una determinata frequenza e altri due suoni la cui frequenza è la metà, o un quarto, rispetto alla frequenza del primo suono.

Questo circuito è un'applicazione dei divisori di frequenza realizzati a partire da un flip-flop. Dato che disponiamo di un integrato con due di questi elementi e dato che i divisori dividono per due, questi componenti collegati l'uno dopo l'altro possono dividere per quattro.

Il circuito

La frequenza fondamentale del circuito viene generata dalla porta U1B del circuito integrato 4093, che forma un oscillatore astabile con una frequenza di circa 5,6k Hz. Questa frequenza appare nel terminale 4 di U1 e sarà la frequenza fondamentale. Il segnale viene portato all'ingresso del clock del primo divisore U2A, e dalla sua uscita al clock del secondo divisore, U2B. I due flip-flop di tipo JK, sono configurati come flip-flop del tipo T, per poter realizzare la divisione per due. Dato che sono collegati tra di loro, all'uscita Q di U21A, terminale 1, avremo 5,6/2 kHz e all'uscita Q di U2B, terminale 15, di 5,6/4 kHz, perché divide per due la frequenza che è già stata divisa per due nel flip-flop U2A. Questi tre segnali vengono collegati a una delle estremità dei pulsanti P8 (frequenza fondamentale) P7 (f/2) e P6 (f/4). In questo modo, quando se ne attiva uno, il segnale passerà all'altra parte del circuito e potremo ascoltarne il suono dall'altoparlante. Mediante il potenziometro POT, possiamo controllare il volume dell'uscita dell'amplificatore.

Il flip-flop JK divide per due

Funzionamento

Una volta collegata l'alimentazione al circuito, posizioneremo il potenziometro a metà circa del suo percorso, così, il montaggio sarà pronto per funzionare. E' importante notare che il circuito deve funzionare solamente con un tasto alla volta, perché altrimenti il circuito integrato 4027 potrebbe danneggiarsi. Ogni volta che viene azionato un pulsante, possiamo verificare come cambia il suono.

Messa in funzione

Per quanto riguarda il collegamento, è importante sottolineare che nel circuito integrato 4027 le entrate JK, SET e RESET devono essere correttamente collegate; in caso contrario, non possiamo essere certi del funzionamento del circuito. Se qualche connessione fosse stata mal realizzata, azionando P7 o P8, non potremo

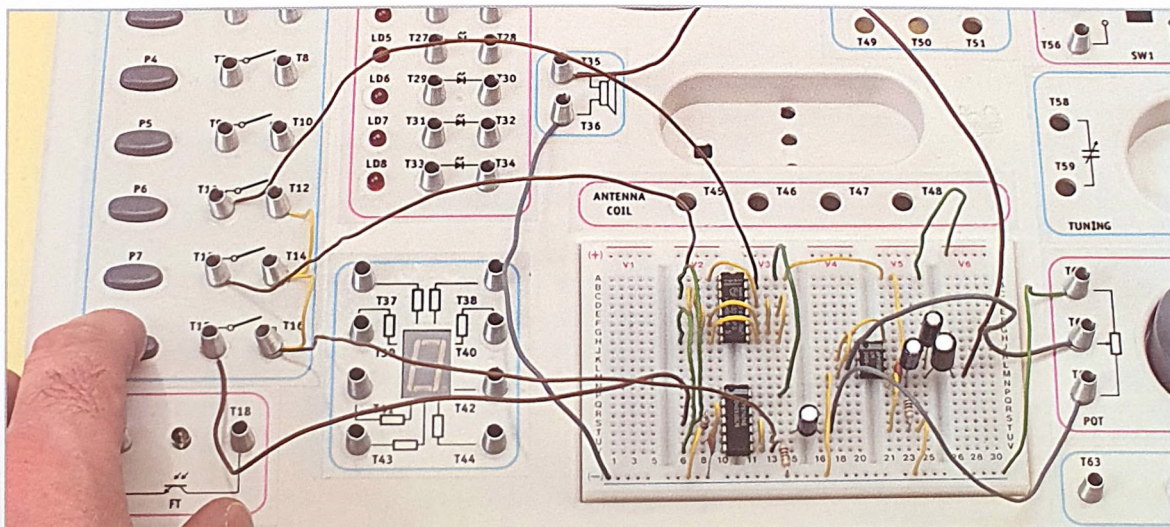
Generatore a tre ottave

COMPONENTI	
R1	470 K
R2	1M
R3	10 Ω
C1	10 µF
C2	47 nF
C3	220 µF
C4	1 µF
C5	47 µF
C6	470pF
U1	4093
U2	4027
U3	LM386
DA P6 A P8	
ALTOPARLANTE	
POT	

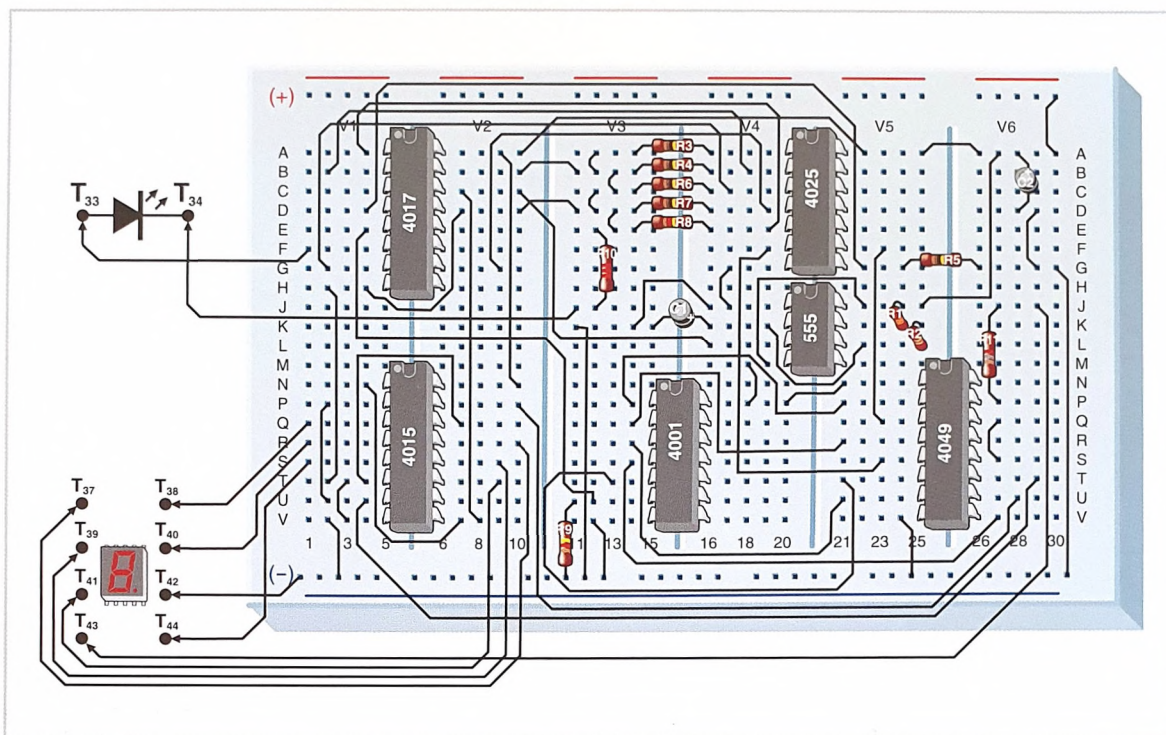
ascoltare nessun suono perché qualche flip-flop potrebbe essere bloccato. Si deve fare particolare attenzione anche ai componenti dotati di polarità e ai terminali di alimentazione degli integrati.

Esperimenti

Se non dovesse piacerci, possiamo cambiare la frequenza fondamentale del circuito cambiando i valori di R1 e C6.

E' anche possibile fare in modo che si possano azionare due e anche tre pulsanti insieme. A questo scopo, dovremo inserire tre diodi semiconduttori, 1N4148, con l'anodo di ciascuno collegato ai terminali T12, T14 e T16 e i tre catodi uniti e collegati all'ingresso della porta invertente U1C.

Si ottiene una frequenza con una o due ottave di meno.

Trasmissione seriale dei dati

L'informazione d'illuminazione dei segmenti del display si trasmette per via seriale su un unico filo.

In questo esperimento si realizza una vera e propria trasmissione seriale di dati sincronizzata da un segnale di clock. In altre parole, il clock controlla il momento nel quale è trasmesso ciascun dato.

Per questo esempio, selezioneremo l'informazione che vogliamo appaia sul display, configurandola con i ponti da 'a' a 'g' e trasmettendola attraverso un filo, dall'uscita di U3D, all'ingresso di U5A perché si veda nel display dopo sette cicli del clock.

Funzionamento

Iniziamo la descrizione del funzionamento generale del circuito dall'oscillatore astabile formato con il 555, che genera il segnale del clock in maniera ininterrotta.

Questo clock svolge due funzioni: da un lato aziona il 4017 che genera il dato da trasmettere e dall'altro lato muove il doppio registro di spostamento 4015.
In ciascuna delle uscite da Q0 a Q6 del 4017 c'è un ponte con il nome del segmento a cui corrisponde, in maniera tale che, se si chiude il contatto, il segmento si illumina e, se lo si lascia aperto, il corrispondente segmento rimane spento. In questo modo, una volta scelta la sequenza che si vuole trasmettere e dopo che siano passati sette impulsi del clock, uno per ogni dato (o segmento), il diodo LED LD8 si illuminerà, mostrando sul display l'informazione che è stata selezionata con i ponticelli (chiuso = 1, aperto = 0).

Questo circuito ha bisogno di un clock

Il circuito

Il circuito realizzato intorno al 555 è un oscillatore astabile con frequenza bassissima, perché ci dia il tempo necessario a vedere come si realizzi la trasmissione dato per dato.

C'è una considerazione molto importante da fare in fase di progetto: il fronte positivo del clock, che agisce sia sul 4017 che sul 4015, deve consentire che venga catturato innanzitutto il dato all'ingresso D di U5A, terminale 15, prima che la successiva uscita del 4017 cambi. In effetti, questo avviene grazie ai tempi di ritardo di ogni singola porta logica, che forma il circuito a valle del 4017.
Tutte queste porte logiche costituiscono una porta OR a sette in-

Trasmissione seriale dei dati

COMPONENTI	
R1	33 K
R2	470 K
R3-R9	100 K
R10	2K2
R11	1K8
C1	10 µF
U1	4017
U2	4025
U3	4049
U4	4001
U5	4015
U6	555
LD8	
DISPLAY	

gressi che trasmetterà il dato che c'è all'ingresso, e che sarà un '1' se il ponte è stato realizzato, oppure uno '0' se non lo è stato. Le porte U3E e U3F servono all'accensione del segmento 'd' senza che si carichi l'uscita QD di U5A. Senza l'ausilio di queste due porte il livello dell'uscita QD non sarebbe sufficiente per pilotare anche l'ingresso D di U5B a causa del consumo del segmento 'd'.

Quando si illumina il LED LD8 il dato sarà sul display: in questo esempio si deve illuminare lo zero.

Messa in funzione

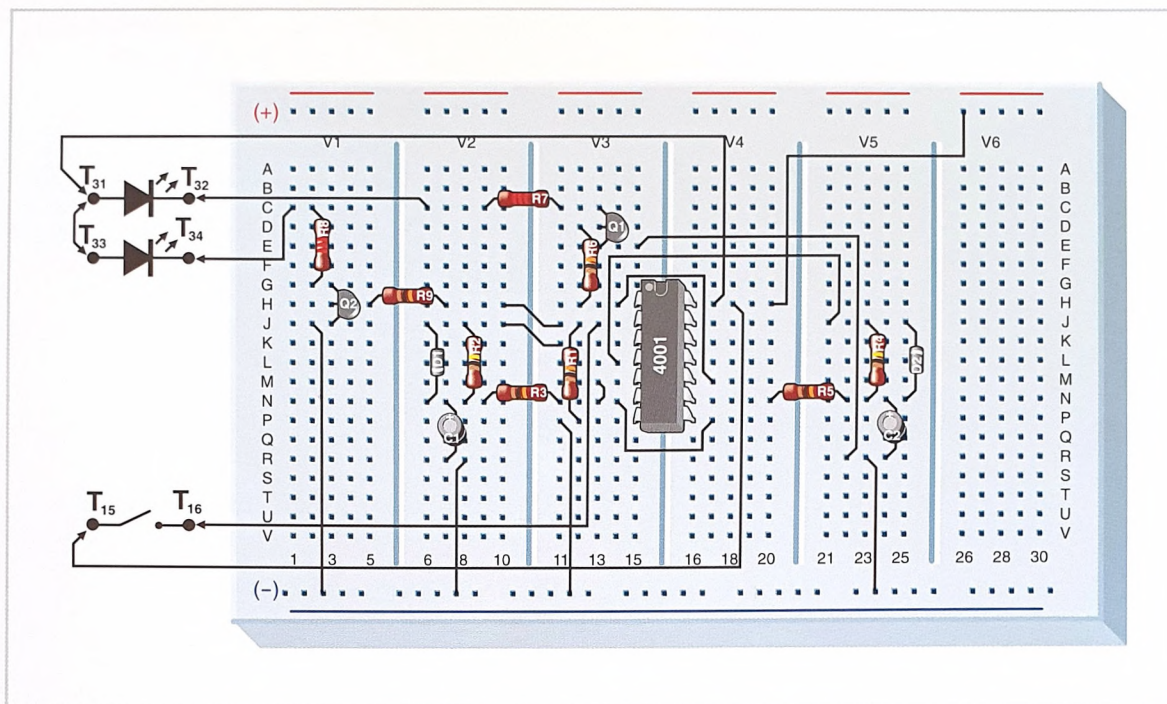
Supponiamo di voler rappresentare il numero 3. A questo scopo, dovremo mettere i ponti corrispondenti ai segmenti che vogliamo illuminare: 'a', 'b', 'c', 'd' e 'g'. In seguito, collegheremo l'alimentazione e vedremo che i segmenti si illumineranno seguendo i dati che attraversano il registro 4015. Alla fine della trasmissione dei dati, dopo i sette impulsi inviati dal clock, che corrispondono ai sette segmenti del display, LD8 si illumina. In questo momento apparirà sul display il numero 3. Possiamo fare lo stesso con un qualunque altro numero.

Esperimento

Possiamo fare diversi esperimenti con questo circuito.

Per esempio, possiamo cambiare la frequenza di trasmissione, variando la frequenza del clock e cambiando il valore di C1.

Discriminatore segnale/rumore

Il circuito non si attiva quando l'impulso d'ingresso è molto breve.

Negli esperimenti in cui si impiega un pulsante per generare l'impulso di clock per un contatore, possono verificarsi frequentemente degli inconvenienti, inducendoci a pensare che il circuito contatore non funzioni correttamente.

Succede spesso che il contatore avanzi di vari numeri alla volta invece che di uno solo. Questo è dovuto al fatto che oltre all'impulso generato in maniera intenzionale, si producono altri impulsi a causa di disturbi elettrici o a rimbalzi dei contatti; malgrado siano molto brevi, sono comunque captati dall'ingresso del contatore che, quindi, li conta. Il problema non sta nel contatore, ma negli impulsi che gli arrivano all'ingresso.

Il circuito

Il circuito che proveremo si utilizza per eliminare gli impulsi di breve durata. Per comprendere il funzionamento del circuito, si utilizzano due diodi LED, LD7 e LD8. Il diodo LED LD8 è la spia di funzionamento del pulsante, perché premendo la sua resistenza di base, R9, riceve direttamente corrente. L'altro LED, LD7, è la spia di funzionamento del circuito discriminatore. Quando la durata dell'impulso d'ingresso è breve, il LED LD8 si illumina istantaneamente; l'illuminazione ha la medesima durata dell'impulso, mentre il LED LD7 rimane spento.

Elimina gli impulsi brevi

Se invece si mantiene premuto il pulsante più di un secondo, si illuminerà sempre LD8 per tutto il tempo, e rilasciando il pulsante si illuminerà il LED LD7, che resterà illuminato per circa cinque secondi. Trascorso questo periodo di tempo, il circuito tornerà allo stato iniziale.

Si utilizza questo circuito anche per evitare doppie pulsazioni: se una volta illuminato il LED LD7 dopo una pulsazione superiore a un secondo, premiamo di nuovo e immediatamente, per un breve periodo di tempo, o anche lungo da uno a due secondi, questa pulsazione non sarà rilevata e il LED LD7 si spegnerà in capo ai cinque secondi iniziali.

Messa in funzione

Questo circuito deve essere montato attentamente e ordinatamente per non commettere errori. Si deve anche fare attenzione alla polarità dei condensa-

Discriminatore segnale/rumore

COMPONENTI	
R1, R3, R5, R6, R9	10 K
R2, R4	100 K
R7, R8	2K2
C1	10 µF
C2	47µF
D1, D2	1N4148
Q1, Q2	BC548
U1	4001
LD7, LD8	
P8	

tori elettrolitici dei diodi, e utilizzare i transistor indicati, inserendoli bene. Non ci si deve dimenticare che i circuiti integrati hanno un determinato orientamento.

Il LED LD7 si illumina solamente con pulsazioni superiori a un secondo.

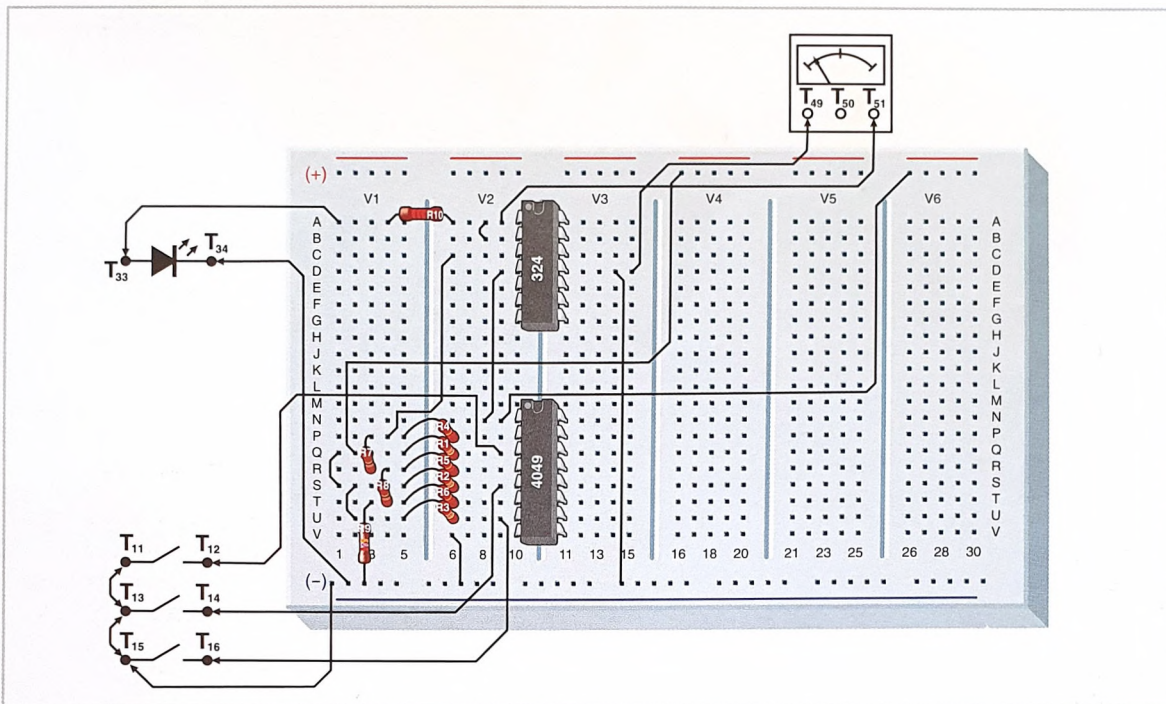
Esperimenti

I tempi utilizzati in questo circuito sono molto lunghi per un circuito reale, normalmente si utilizzano tempi più brevi. Il tempo che serve per rilevare l'impulso dipende dai valori scelti per la resistenza R2 e per il condensatore C1.

Con i valori indicati abbiamo approssimativamente 1 secondo. L'altra temporizzazione può essere modificata utilizzando un altro valore per la capacità del condensatore C2.

Raccomandiamo di mantenere il valore delle resistenze e di cambiare i condensatori, provando per C1 i valori di 4,7 e 22 µF e per C2 di 10, 22, 47 e 100 µF.

Convertitore D/A con indicatore

La tensione di uscita è proporzionale al numero espresso in codice binario applicato all'ingresso.

Questo circuito è molto simile a quello dell'esperimento DIGITALE 77. Utilizza un codice d'ingresso da 3 bit ed eroga un livello di tensione di uscita proporzionale al numero decimale rappresentato mediante questo codice. I codici d'ingresso vanno dallo 000, che corrisponde ad una tensione di uscita quasi nulla, all'111 che dà la massima tensione di uscita. I rimanenti codici corrispondono ai valori intermedi della tensione. L'ingresso del dato avviene mediante i tre pulsanti P6, P7 e P8: P6 corrisponde al bit di maggior peso, mentre P8 a quello di peso minore. A ogni pulsante è associata una porta invertente del circuito integrato 4049. In stato di riposo, l'uscita di tutte le porte è zero perché le loro entrate, essendo state collegate al positivo dell'alimentazione mediante una resistenza di pull-up, sono a livello alto; in questo caso le resistenze sono R1, R2 e R3. Quando un pulsante viene attivato, l'uscita della porta corrispondente passa a livello alto e assicura all'ingresso della porta non invertente dell'amplificatore operazionale U2A un apporto di tensione. Ogni pulsante eroga un diverso apporto. La tensione di uscita è uguale al numero decimale applicato all'ingresso, per esempio, al numero decimale 5 corrisponde nel sistema binario il numero 101; quindi si preme P6 e P8 e la lettura del voltmetro sarà di 5 Volt.

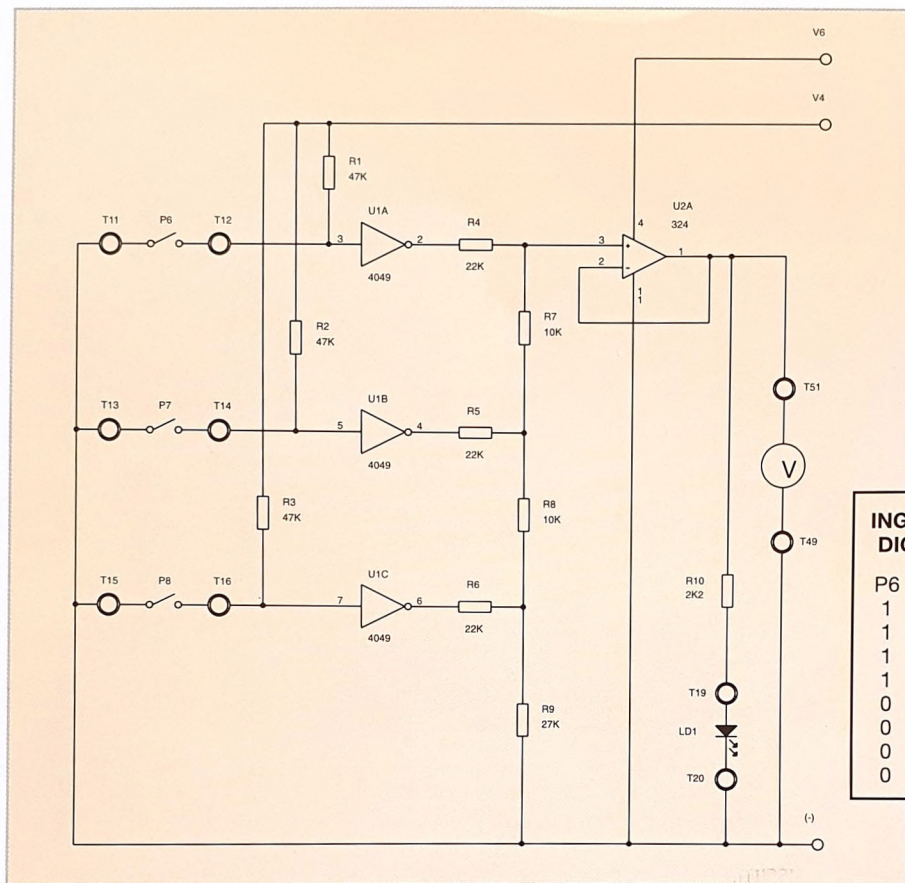
Uscita analogica

Il circuito

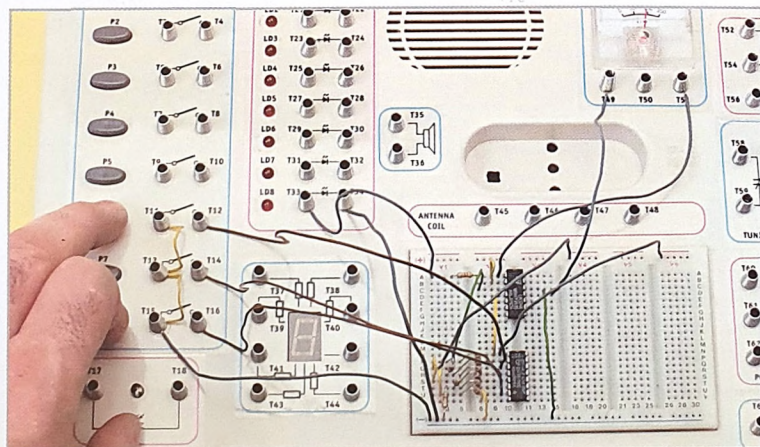
Il circuito è abbastanza semplice, la prima parte è già stata spiegata; la seconda consiste in un circuito inseguitore di tensione la cui uscita viene portata all'ingresso positivo del voltmetro da 10 Volt di fondo scala, terminale T15. In questo voltmetro si legge direttamente la tensione di uscita, grazie alla quale possiamo verificare il funzionamento del circuito, anche se utilizza un diodo LED indicatore il quale, logicamente, alle tensioni minori non si illumina.

Messa in funzione

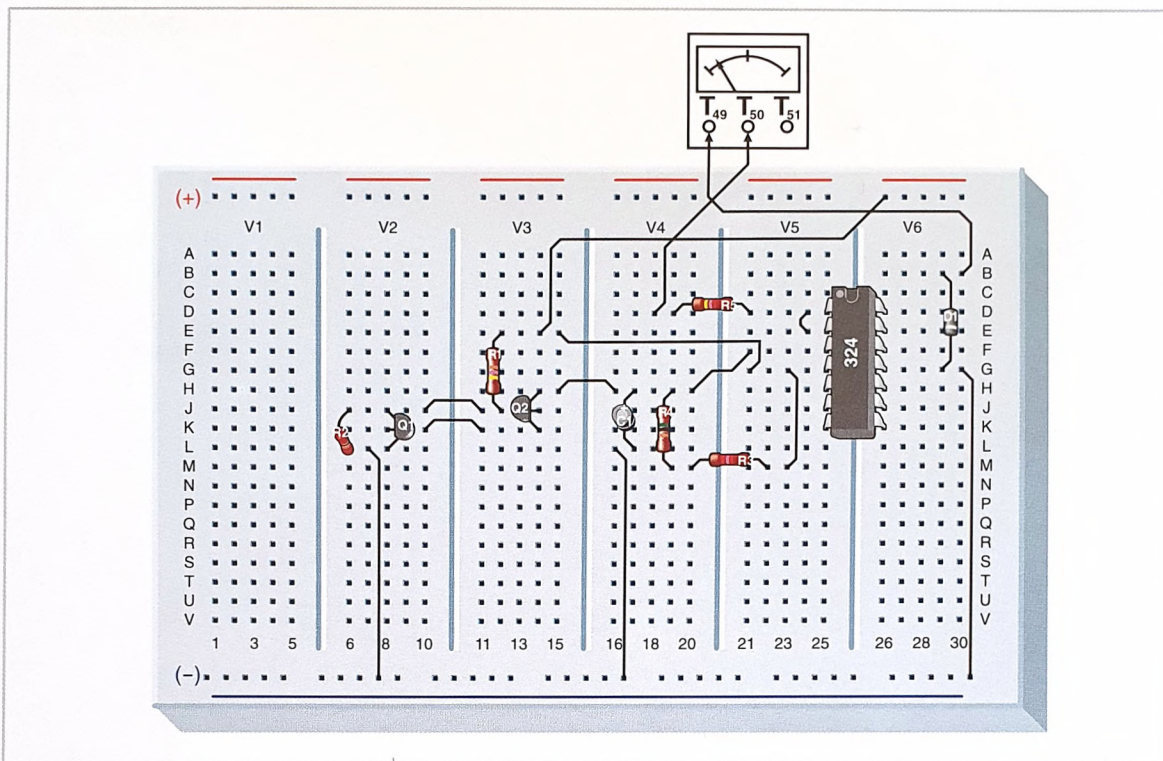
Il montaggio è abbastanza semplice, ma lo dobbiamo effettuare attentamente per evitare di commettere degli errori. Prima di collegare l'alimentazione – cavo che unisce V6 – dobbiamo verificare tutte le connessioni. I terminali corrispondenti all'alimentazione del circuito integrato 4049 sono: terminale 1 per il positivo e terminale 8 per il negati-

Convertitore D/A con indicatore

COMPONENTI	
R1, R2, R3	47 K
R4, R5, R6	22 K
R7, R8	10 K
R9	27 K
R10	2K2
U1	4049
U2	324
LD1	
P6, P7, P8	
STRUMENTO	

INGRESSO DIGITALE			TENSIONE VOLTMETRO
P6	P7	P8	Tensione
1	1	1	7
1	1	0	6
1	0	1	5
1	0	0	4
0	1	1	3
0	1	0	2
0	0	1	1
0	0	0	0

vo. Per provare il circuito si agisce sui pulsanti seguendo l'ordine della tavola, in modo che aumentando il conteggio aumenti anche la tensione letta dal voltmetro. I valori delle resistenze da R4 a R8 non devono essere cambiati. Tuttavia, se schiacciando tutti i pulsanti la lettura non si avvicina a 9 Volt, possiamo effettuare una regolazione cambiando il valore della resistenza R9 e provando con altri valori, per esempio 22 K, 18 K eccetera, fino a raggiungere all'uscita il livello di tensione voluto. Prima di provare a effettuare la regolazione, si deve rivedere tutto il lavoro realizzato, per capire se il malfunzionamento è dovuto a un errore di montaggio oppure al valore di una resistenza diverso da quello consigliato. I valori delle resistenze R1, R2 e R3 possono essere diminuiti, se si vuole ridurre il consumo, fino a 1M perché la sua unica funzione è mantenere all'ingresso delle porte un livello logico alto.

Nella scala superiore del voltmetro si legge in Volt la tensione corrispondente al numero selezionato con i pulsanti.

Generatore della rampa di tensione

Generatore di dente di sega a bassa frequenza.

In questo esperimento otteniamo un segnale di uscita a forma di dente di sega. Questo segnale ha una frequenza bassissima, per permettere che la variazione di tensione del segnale possa essere osservata seguendo le evoluzioni dell'ago dello strumento di misura.

Il circuito

Questo circuito genera una rampa di tensione tra i morsetti del condensatore C1. Il condensatore si carica in maniera lineare per mezzo delle resistenze R3 e R4. La carica avviene lentamente e può essere considerata come una rampa di tensione. La scarica si verifica mediante i transistor Q1 e Q2.

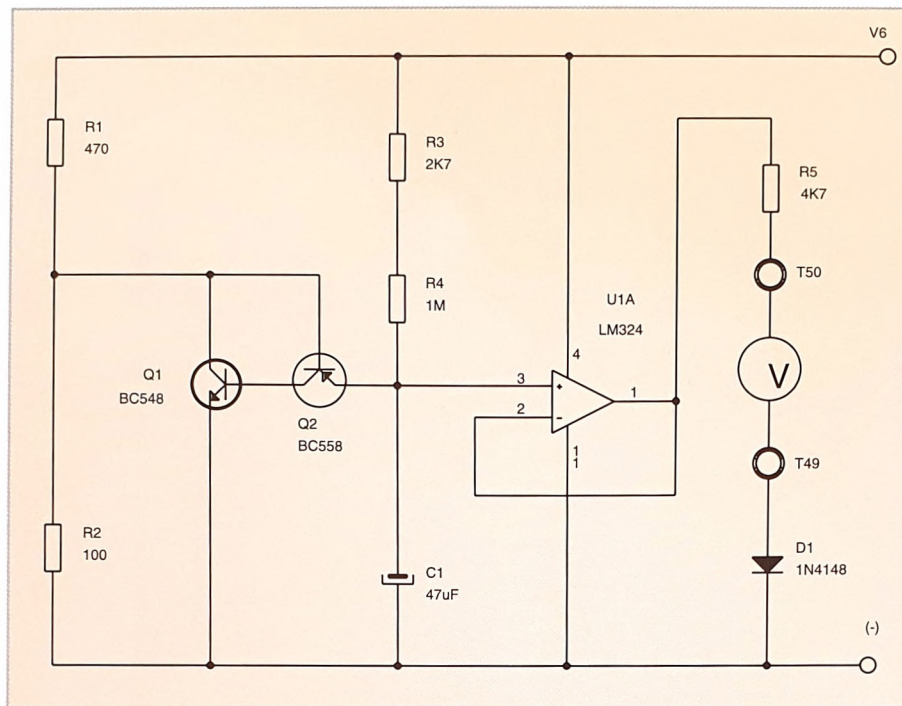
Quando il circuito non è alimentato, il voltmetro segna 0; quando si collega l'alimentazione, si vede che l'ago sale, fino a quando entrano in conduzione i transistor Q1 e Q2 che lo fanno scaricare fino a un certo livello. L'ago, tuttavia, non scende fino allo zero; il condensatore continua a caricarsi e a scaricarsi in modo ripetitivo. La tensione sale lentamente e cade in maniera più veloce, ma non fino allo 0. Il circuito inseguitore costruito con l'amplificatore operazionale U1A di LM324 evita che la connessione dello strumento di misura disturbi il funzionamento del circuito stesso.

Il montaggio

Il montaggio è semplicissimo, ma utilizza una scala sensibilissima dello strumento di misura: un microamperometro da 200 µA, che si converte in un voltmetro mettendo in serie la resistenza R5 da 4K7.

Si deve fare attenzione al microamperometro perché possiamo distruggerlo se lo colleghiamo direttamente a una fonte di tensione senza inserire una resistenza. Con il diodo D1 si evita che l'ago colpisca il fondo scala; se dovesse succedere, bisogna aumentare il valore della resistenza R5. Vi avvertiamo che in questo esperimento la scala dello strumento non viene utilizzata per leggere, ma per osservare quanto rapidamente si muova l'ago e verificare come cambi la tensione ai capi del condensatore C1. Il fatto

Osserviamo la rampa nel voltmetro

Generatore della rampa di tensione

COMPONENTI	
R1	470 Ω
R2	100 Ω
R3	2K7
R4	1M
R5	4K7
C1	47 µF
D1	1N4148
Q1	BC548
Q2	BC558
U1	LM324
STRUMENTO	

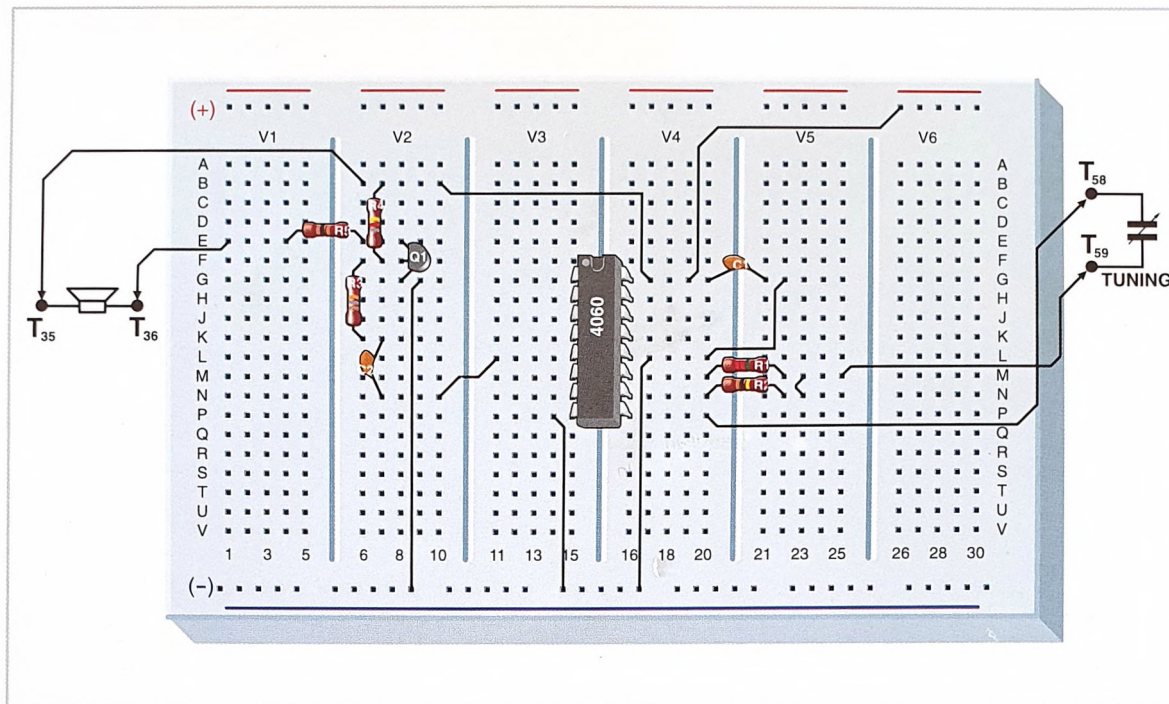
che l'ago salga lentamente con il passare del tempo indica che se disegnassimo un diagramma tensione/tempo potremmo osservare dei tratti di salita sotto forma di rampa e altri di discesa quasi verticale; il disegno ci ricorda i denti di una sega, nome che in gergo viene dato a questo tipo di segnale.

Se la frequenza è bassa, l'occhio riesce a seguire il movimento dell'ago dello strumento, possiamo così notare l'evoluzione del livello della tensione.

Esperimento

L'esperimento più semplice che possiamo realizzare è la variazione della frequenza del segnale di uscita. Per diminuire la frequenza e far diventare più lenta la variazione, possiamo aumentare il valore della resistenza R3 provando con diversi valori e scendendo fino a 1M, tanto per fare un esempio. Possiamo cambiare anche il condensatore con un altro di maggior capacità.

Generatore controllato da un condensatore

La regolazione della frequenza di uscita avviene mediante un condensatore variabile.

In questo esperimento otterremo un generatore a dieci bande di frequenza delle quali alcune corrisponderanno a dei suoni udibili che potremo ascoltare dagli altoparlanti del laboratorio.

Si utilizza un unico integrato perché per ottenere bande differenti sfrutteremo il generatore interno del circuito integrato 4060 e i suoi divisori di frequenza. Con il comando del condensatore variabile, regoleremo la frequenza all'interno di ogni banda.

Il circuito

Utilizzando al massimo le possibilità dell'integrato 4060 che eroga alle proprie uscite i segnali delle frequenze corrispondenti alle bande si semplifica molto il circuito.

Lo stadio di uscita che si collega direttamente all'altoparlante serve solamente quando la frequenza del segnale di uscita è all'interno della banda audio. Questo circuito integrato contiene due porte addizionali, collegate l'una all'altra e destinate alla costruzione di un oscillatore. Esternamente abbiamo un terminale in ciascuno dei punti di questa catena di porte, cosicché collegando i componenti esterni R1, R2 e il condensatore variabile TUNING otterremo un oscillatore. La frequenza di questo oscillatore dipende dal valore della capacità selezionata dal condensatore; stiamo infatti utilizzando un modello di condensatore a capacità variabile.

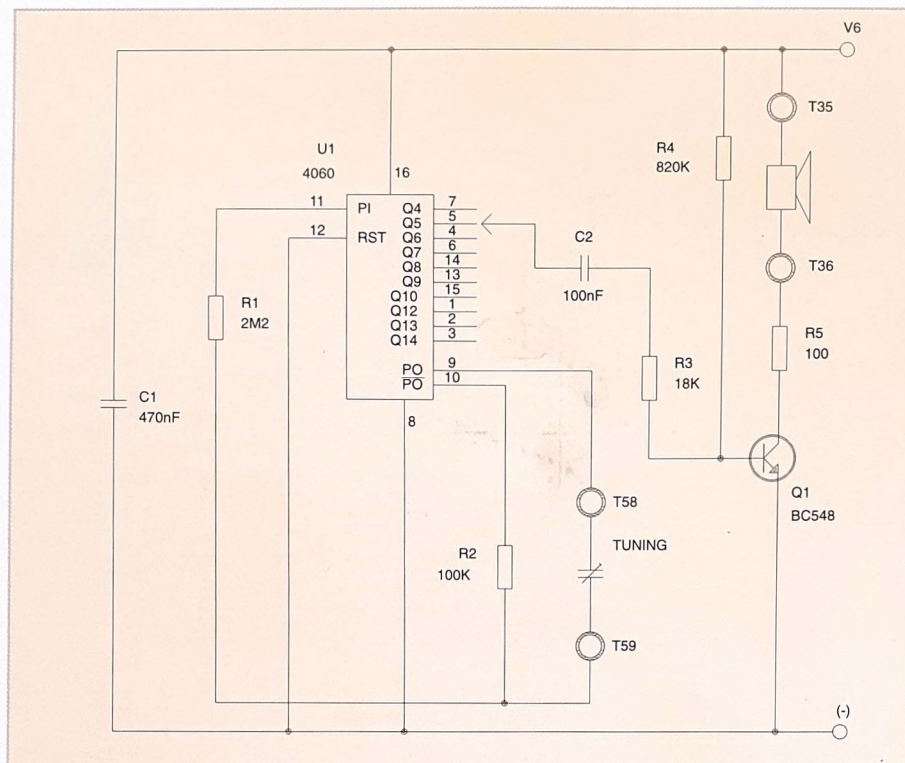
Se la frequenza dell'oscillatore varia, cambierà anche la frequenza di ciascuna uscita. Per provare il circuito utilizzeremo l'uscita 5, ma ne potremmo usare qualunque altra. Il transistor Q1 si attiva a seguito dell'attivazione dell'uscita Q5, la cui frequenza cambia a seconda di come verrà ruotato il comando del condensatore.

Dieci bande di frequenza di uscita

Funzionamento

Con l'alimentazione collegata al circuito, il montaggio inizierà a oscillare alla frequenza imposta dal condensatore TUNING.

Tenendo conto che il periodo di oscillazione della rete R-C del 4060 è di T = 2,2 x R2 x C1, la frequenza di oscillazione varierà tra circa 30 e 150 kHz. L'uscita Q5 divide questo segnale per 32, per cui avremo una gamma di frequenze che va da circa 1 kHz a circa 5 kHz,

Generatore controllato da un condensatore

COMPONENTI	
R1	2M2
R2	100 K
R3	18 K
R4	820 K
R5	100 Ω
Q1	BC548
C1	470 nF
C2	100 nF
U1	4060
ALTOPARLANTE	
TUNING	

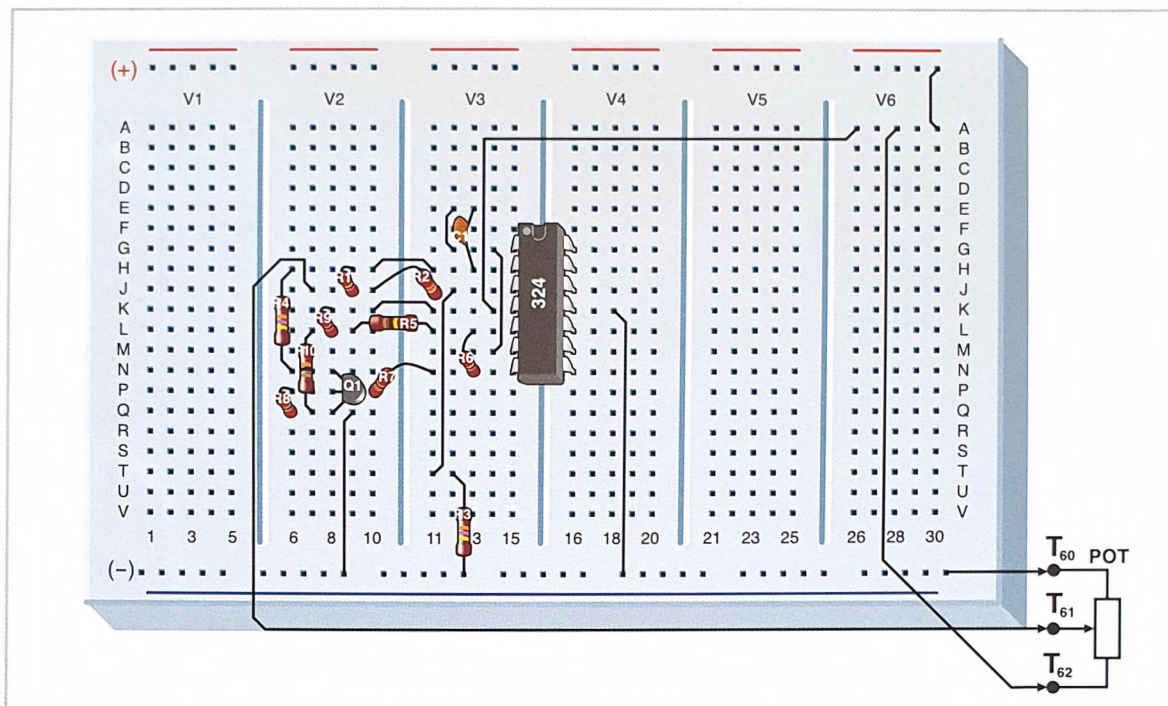
comprese nel range delle frequenze udibili. Il transistor senza un segnale nella sua base è polarizzato in un punto di lavoro intermedio per mezzo della resistenza R4. Si migliora così il suono dell'altoparlante perché il transistor non deve effettuare il passaggio dallo stato di interdizione a quello di saturazione con la tensione che gli arriva alla base. Abbiamo realizzato il calcolo teorico tenendo conto che il condensatore varia tra 30 e 150 pF, a seconda della posizione in cui è stato collocato l'asse del condensatore. I valori della frequenza possono cambiare a causa della tolleranza dei componenti.

La capacità del condensatore determina la frequenza dell'oscillatore interno.

Messa in funzione

Per far funzionare il circuito, basterà collegarlo all'alimentazione. Se non dovesse suonare una volta collegato, dovremo verificare le seguenti connessioni: l'alimentazione dell'integrato, del transistor all'uscita Q1 e dei componenti costituenti l'oscillatore: resistenze R1, R2 e condensatore TUNING. Possiamo ottenere un'altra gamma di variazioni della frequenza di uscita scegliendo un'uscita diversa del divisore come frequenza d'ingresso al transistor.

VCO uscita onda triangolare e quadra

Otteniamo all'uscita un'onda triangolare e una quadra controlliamo la frequenza con la tensione.

In questo esperimento utilizziamo uno dei numerosi circuiti per mezzo dei quali si possono costruire i VCO, cioè gli oscillatori controllati dalla tensione (in inglese Voltage Controlled Oscillator).

Questo oscillatore ha due uscite: un'onda quadra per il terminale 7 del circuito integrato e un'onda triangolare per il terminale 1. La frequenza dei due segnali è la medesima. Per mezzo del condensatore C1 da 22 nF otteniamo una frequenza di uscita che possiamo regolare tra 33 e 220 Hz. La tensione di controllo può variare da circa 1,3 Volt fino alla massima tensione di alimentazione. Al di sotto di 1,3 Volt l'oscillatore smette di oscillare.

Il circuito

Questo è un tipico circuito basato su un integratore costituito in pratica dall'amplificatore operazionale U1A, dal condensatore C1 e da un circuito comparatore formato dall'amplificatore operazionale U1B.

Il condensatore si carica a corrente costante e la tensione di carica viene determinata dalla tensione presente nel terminale T61. L'uscita dell'amplificatore operazionale U1A è una linea retta discendente, uno dei lati del triangolo, e la si applica all'ingresso invertente di U1B di modo che quando il suo livello scende al di sotto del livello di soglia, l'uscita di U1B passa a livello alto e fa sì che il transistor Q1 entri in conduzione provocando la scarica del condensatore, e facendo salire il livello dell'uscita di U1A fino a fargli superare il livello di soglia del comparatore. L'uscita di U1B passa così a livello basso e il transistor smette di condurre. Il processo si ripete all'infinito.

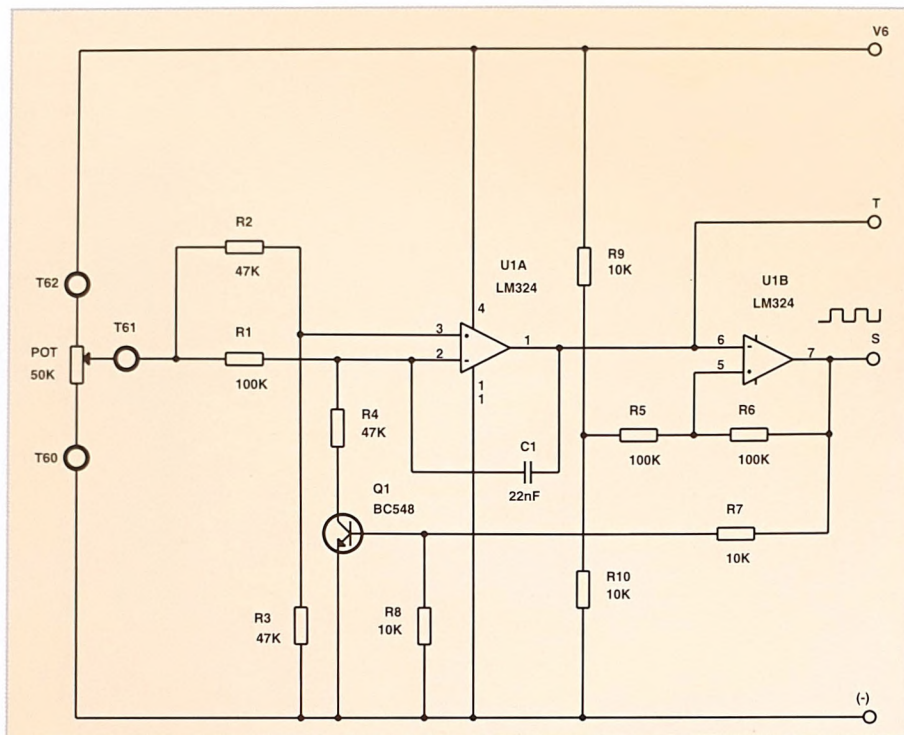
È un VCO alimentato simmetricamente

Se il valore delle resistenze R2 e R3 è lo stesso, il segnale di uscita è simmetrico; inoltre R1 deve essere il doppio rispetto a R4.

Messa in funzione

Una volta riviste tutte le connessioni, il circuito deve funzionare senza problemi e sullo schermo dell'oscilloscopio si possono osservare i segnali di uscita. Dato però che non tutti i lettori dispongono di un oscilloscopio, ne abbiamo fotografato lo schermo con i segnali di uscita di questo circuito: possiamo vederli nella scheda "TEORIA 97".

La frequenza di uscita di questo circuito è molto bassa ed è

VCO uscita onda triangolare e quadra

COMPONENTI	
R1, R5, R6	100 K
R2, R3, R4	47 K
R7, R8, R9, R10	10 K
C1	22 nF
U1	LM324
Q1	BC548
POT	

difficile sentirla con un piccolo altoparlante, ma possiamo comunque tentare il seguente esperimento.

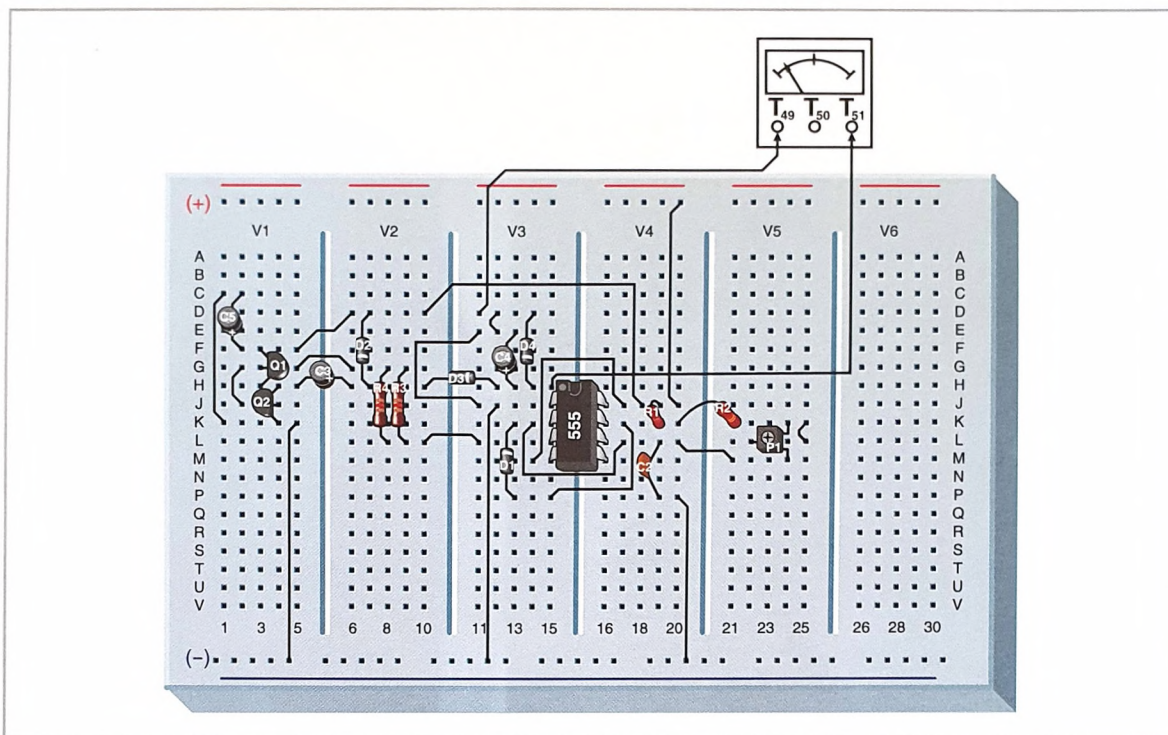
Esperimento

Colleghiamo il terminale T36 dell'altoparlante a (-), una resistenza da 220 Ω al terminale dell'uscita 7 e un'altra (di pari valore) al terminale 1. Per sentire il segnale dell'uscita uniamo con un cavetto il terminale T35 con l'estremità non collegata dell'una o dell'altra resistenza. Per udirlo conviene alzare la frequenza: basta sostituire il condensatore C1 con un altro di minore capacità. Raccomandiamo di provare diversi valori, per esempio 10, 4,7 e 2,2 nF. Con quest'ultimo valore otteniamo una frequenza che possiamo regolare tra circa 470 Hz e 2,5 kHz, frequenze perfettamente udibili. Se vogliamo un livello del suono più alto, possiamo collegare l'una o l'altra uscita all'ingresso dell'amplificatore audio costruito con un LM386.

Per sapere in ogni momento quale sia la tensione di controllo che stiamo applicando, possiamo inserire il voltmetro collegando il terminale T49 a (-) e il terminale T51 a T61 del potenziometro.

L'uscita triangolare viene presa dal terminale 1 del circuito integrato e quella quadra dal terminale 7.

Elevatore della tensione

La tensione continua dell'uscita del circuito è superiore a quella di alimentazione.

Questo circuito corrisponde a quello di un duplicatore di tensione a diodi ed è costituito da due parti principali: innanzitutto dal duplicatore di tensione formato dai diodi D2, D3 e dai condensatori C3 e C4. L'altra parte è asservita al duplicatore perché esso funziona solamente quando al suo ingresso viene applicato un segnale alternato: si fa ciò con un 555 configurato come astabile e con un paio di transistor complementari.

Funzionamento

Per far funzionare il circuito c'è bisogno della tensione di alimentazione, in questo caso 4 V: quando le pile sono cariche, diventa una tensione nominale di 6 V.

Questa tensione fa funzionare un oscillatore astabile costruito con un 555. Il circuito ha una frequenza di uscita che può essere regolata approssimativamente tra 1,5 e 35 kHz; l'uscita è un impulso. Il livello alto è di 2,15 millisecondi mentre quello basso dipende da come viene regolato il potenziometro P1.

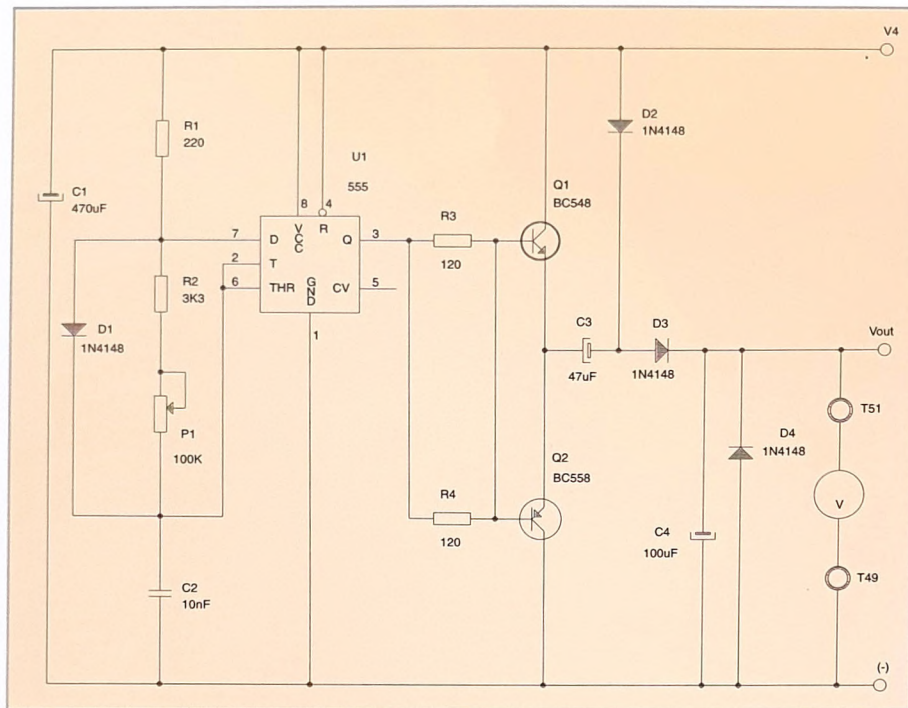
Cambiando il periodo logicamente cambia anche la frequenza, ma sempre tra i margini che abbiamo indicato.

Quando il segnale di uscita nel terminale 3 di U1 è a livello basso il transistor Q2 conduce e il condensatore C3 per mezzo del diodo D2 si carica. Quando arriva un impulso positivo, Q2 smette di condurre, e si attiva Q1, il quale eleva la tensione nel polo negativo del condensatore C3 ad un valore quasi uguale a quello di alimentazione, e dato che la sua carica precedente era dello stesso segno, la quantità di carica finale del condensatore sarà di valore quasi doppio di quella di alimentazione, e attraverso il diodo D3 questa carica passa nel condensatore C4.

Questo condensatore non si scarica verso l'altro perché il diodo D3 non lo consente e si deve aspettare il ciclo successivo perché C3 torni a caricarsi, e la carica si trasferisca a C4: in questo modo, il condensatore C4 si caricherà fino a raggiungere un valore di tensione continua superiore a quella di alimentazione.

Doppiatore a diodi

Questo circuito è conosciuto anche con il nome di pompa di carica perché, con un'analogia idraulica, la carica del condensatore C3 viene pompata nel condensatore C4.

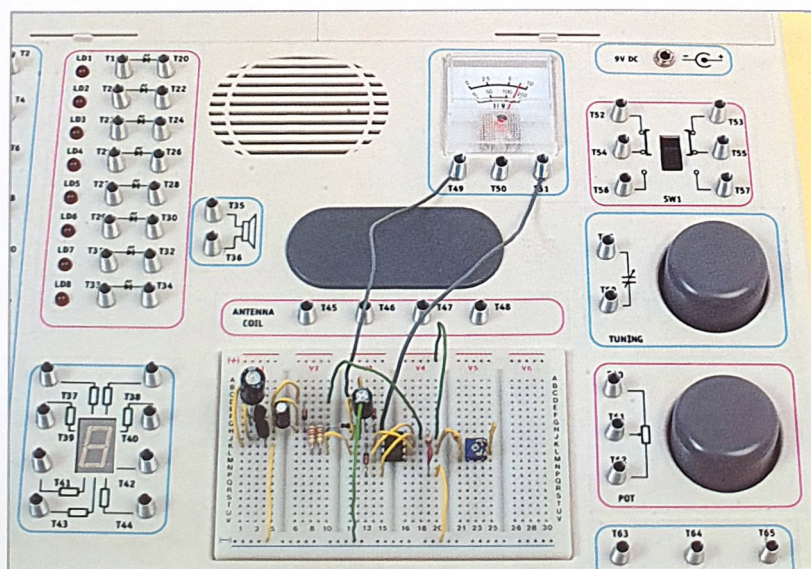
Elevatore della tensione

COMPONENTI	
R1	220 Ω
R2	3K3
R3, R4	120 Ω
C1	470 µF
C2	10 nF
C3	47 µF
C4	100 µF
D1, D2, D3, D4	1N4148
Q1	BC548
Q2	BC558
U1	555
LD7, LD8	
STRUMENTO	

Come strumento di misura si usa un voltmetro sulla scala da 0 a 10 Volt.

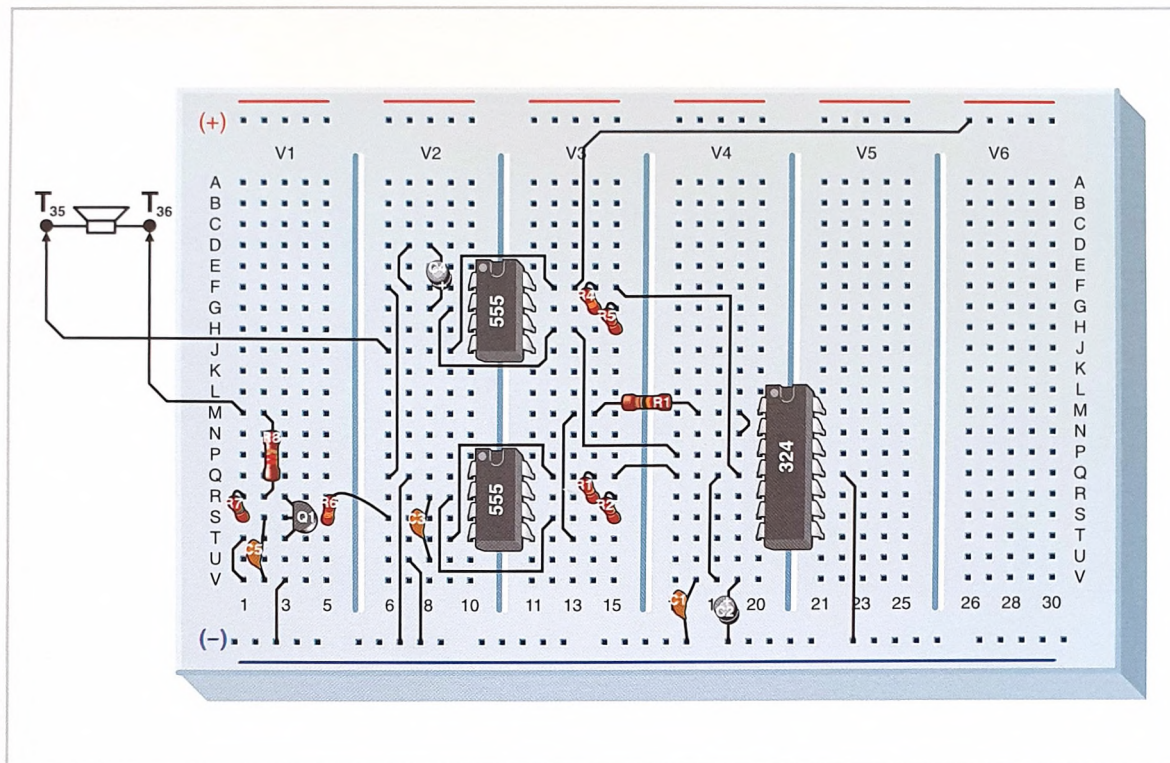
Se scolleghiamo il terminale T51 dello strumento da Vout e lo portiamo a V4 possiamo misurare la tensione effettivamente erogata dalle pile. L'unico inconveniente di questo circuito è che può essere utilizzato solamente per cariche molto ridotte, di circa 10 mA al massimo.

Esperimento

Se montiamo il circuito come mostrato nello schema, lo strumento segnerà una tensione continua da circa 8,5 a 9 Volt.

Con il potenziometro P1 possiamo regolare la frequenza dell'oscillatore astabile, cambiando anche la tensione di uscita, che però continuerà ad essere sempre superiore a quella d'ingresso: significa che il circuito duplicatore continua a funzionare anche a frequenze diverse. Nel montaggio della fotografia con una tensione d'ingresso, misurata in V4, di 5,5 Volt abbiamo ottenuto una tensione di uscita di 8,2 Volt a 38 kHz e di circa 7 Volt a una frequenza di 1,4 kHz.

Questo circuito aumenta la tensione di uscita al di sopra della massima tensione di alimentazione.

Variatore esponenziale di frequenza

Per controllare un modulatore utilizziamo la tensione di carica e scarica di un condensatore.

Il circuito è formato da un modulatore, costruito con un 555, U1, che essendo modulato da una tensione applicata al suo ingresso di modulazione, terminale 5, genera un segnale di frequenza variabile nella banda audio.

La tensione di modulazione è direttamente presa dai morsetti di un condensatore che si carica e scarica in continuazione, questo perché fa parte dell'astabile costituito da U2. La carica e la scarica seguono una curva esponenziale.

Il circuito

Il 555, U2, è stato configurato per funzionare come oscillatore astabile a una frequenza di oscillazione fissa e determinata da R4, R5 e C4. La tensione nel condensatore invece varia in maniera esponenziale caricandosi e scaricandosi tra 3 e 6 Volt. Questa tensione viene applicata ad un altro 555, U1, senza caricare l'astabile U2; si utilizza un ripetitore, costruito con l'operazionale U3A che ha un'elevata impedenza d'ingresso. Anche il circuito integrato U1, l'altro 555, viene utilizzato come oscillatore astabile, ma si utilizza il suo ingresso di modulazione a cui si applica la tensione di carica e scarica di C4 attraverso il ripetitore e la resistenza R3. In questo modo la frequenza del segnale nel terminale 3 di U1 varia in maniera proporzionale alla tensione applicata al terminale 5.

Funzionamento

Attraverso le resistenze R4 e R5 il condensatore C4 si carica fino a raggiungere 6 Volt. Raggiunto questo valore, la tensione del condensatore si scarica automaticamente attraverso il terminale 7 e la resistenza R5 e torna a 3 Volt.

Questa variazione di tensione viene applicata all'ingresso di modulazione di un altro 555 in maniera da ottenere una frequenza proporzionale alla tensione.

La tensione di carica del condensatore è esponenziale

Messa in funzione

Per funzionare il circuito non ha bisogno di nessuna regolazione, per cui si metterà in funzione

Variatore esponenziale di frequenza

COMPONENTI	
R1, R3	10 K
R2, R5	1 K
R4, R6	33 K
R7	1 M
R8	220 Ω
C1	100 nF
C2, C4	47 µF
C3	220 nF
C5	1nF
Q1	BC548
U1, U2	555
U3	LM324
ALTOPARLANTE	

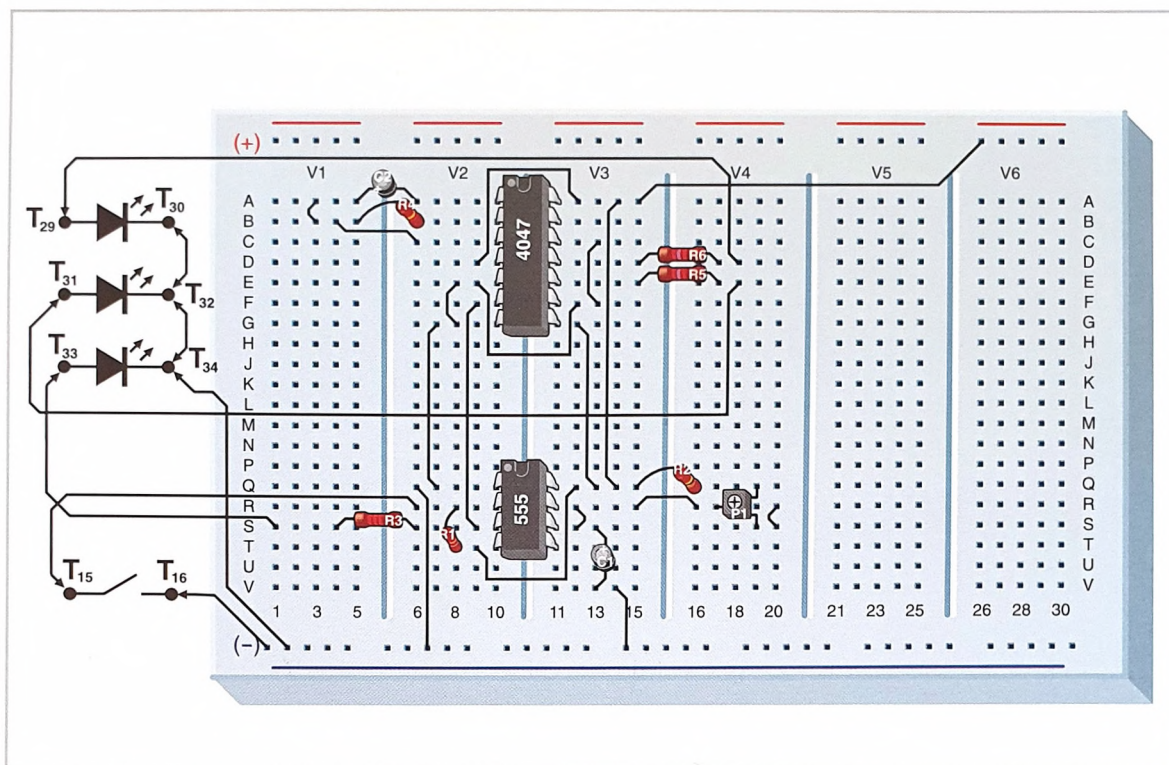
semplicemente collegandolo all'alimentazione. Consigliamo di rivedere tutte le connessioni prima di alimentarlo; se non dovesse funzionare verificheremo l'alimentazione di U1 e U2 e la connessione del terminale 4 di RESET in tutti e due gli integrati. Se il suono risultasse fisso, il che significa che la sua frequenza non cambia, verificheremo anche le connessioni di U3A e di U2.

La frequenza del suono dipende dalla tensione presente nel condensatore C4.

Esperimenti

È interessante portare il valore del condensatore C3 a 100 nF per ottenere un suono molto simile al miagolio di un gatto. Il condensatore C4 dà la velocità di ripetizione del suono; per adattare il suono al nostro gusto ne possiamo cambiare i valori da 10 a 100 µF.

Ritardo temporizzato

Dopo un periodo di tempo prestabilito il circuito si attiva.

Il circuito che presentiamo con questo esperimento può risultare molto utile per risparmiare energia. Si tratta di un'attivazione ritardata e temporizzata durante la quale dopo aver premuto il pulsante si produce una temporizzazione (quella del ritardo); una volta terminata, si attiva la seconda temporizzazione che agisce sul diodo LED posto all'uscita.

Un 4047 controlla l'attivazione

Il circuito

Il circuito si basa su due temporizzatori monostabili realizzati con due diversi integrati. In stato di riposo, l'ingresso del temporizzatore 555, configurato come monostabile acceso da un fronte di discesa grazie alla resistenza R1, è a livello alto.

In questa situazione il terminale 3 di uscita avrà un livello basso e quindi il LED LD8 sarà spento. Anche il secondo integrato, un 4047, è configurato come monostabile. Il 4047 ammette diverse configurazioni di accensione. Nel nostro caso è stato configurato in modo che la sua uscita si attiva quando al suo ingresso (-T) si produce un fronte di discesa; in questa situazione non si attiverà e la sua uscita Q – terminale 10 – sarà a livello basso e LD7 sarà spento mentre la sua uscita /Q – terminale 11 – sarà a livello alto e LD6 sarà acceso. Quando, azionando il pulsante P8, all'ingresso del primo monostabile si produce un fronte da '1' a '0', la sua uscita si attiva passando a livello alto e facendo illuminare LD8. L'uscita di U2 non cambia.

Quando finisce la temporizzazione di U1, la sua uscita torna a livello basso; di conseguenza si produce un fronte da '1' a '0' che attiva il secondo temporizzatore, fa illuminare LD7 e spegnere LD6 per tutto il periodo di tempo determinato dalla rete R4-C2.

Funzionamento

Da quanto esposto, si può dedurre che la prima temporizzazione determina il ritardo di attivazione del circuito.

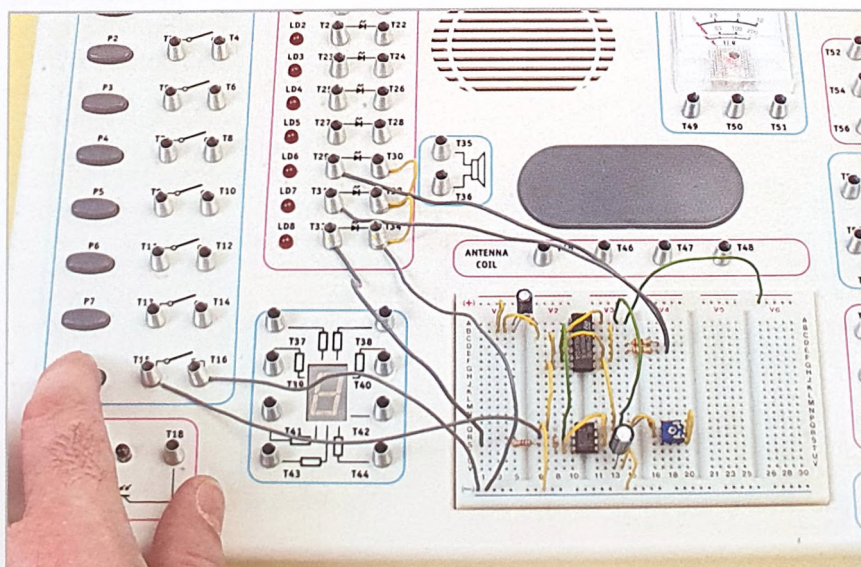
Questa temporizzazione viene data dall'equazione: T ritardo = 1,1 x (R2 + P1) x C1.

Ritardo temporizzato

COMPONENTI	
R1,	82 K
R2,	100 K
R3,R5, R6	2K2
R4	220 K
C1	100 µF
C2	47 µF
U1	555
U2	4047
LD6, LD7, LD8	
P8	

Il range di valori per il tempo di ritardo che la regolazione del potenziometro P1 ci assicura, va da un tempo di circa 10 secondi a più di 1 minuto.

Passato questo periodo di tempo, il passaggio da livello alto a quello basso attiva la seconda temporizzazione, la cui durata viene data dall'equazione: T = 2,5 x R4 x C2. Nel nostro caso è superiore a 25 secondi. I diodi LD7 e LD6 hanno gli stati invertiti tra loro, perché sono collegati alle due uscite complementari del monostabile 4047.

Pertanto Q sarà attiva per tutto il tempo in cui /Q sarà disattivata.

Il tempo di attivazione dell'uscita dipende da R4 e C2.

Esperimenti

Per aumentare o diminuire il tempo di ritardo basterà modificare il potenziometro P1. Se ne volessimo cambiare i margini, dovremmo aumentare o diminuire i valori di R1 e/o del condensatore C1. Per cambiare il valore della temporizzazione dell'uscita, dovremo variare il valore della rete R4-C2, aumentandone o diminuendone i valori, per aumentare o diminuire la temporizzazione.